

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO PARANÁ

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO AMBIENTES LITORÂNEOS E INSULARES

Mestrado em Ciências Ambientais

VANESSA JOHNSON PEREIRA

**Estratégias Didáticas Baseadas na Alfabetização Científica para
promover a compreensão dos Impactos da Ecotoxicologia na Edu-
cação Infantil**

Programa de Pós-Graduação
em Ambientes Litorâneos
e Insulares - UNESPAR

Paranaguá
2026

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO PARANÁ

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO AMBIENTES LITORÂNEOS E INSULARES

Mestrado em Ciências Ambientais

VANESSA JOHNSON PEREIRA

Estratégias Didáticas Baseadas na Alfabetização Científica para promover a compreensão dos Impactos da Ecotoxicologia na Educação Infantil

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ambientes Litorâneos e Insulares – PALI – da Universidade Estadual do Paraná *campus* de Paranaguá, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais.

Orientadora: Profa. Dra. Josiane Aparecida Gomes Figueiredo

Coorientadora: Profa. Dra. Ana Carolina de Deus Bueno Krawczyk

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Bibliotecas da UNESPAR e Núcleo de Tecnologia de Informação da UNESPAR, com Créditos para o ICMC/USP e dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Johnsson Pereira, Vanessa

Estratégias Didáticas Baseadas na Alfabetização Científica para promover a compreensão dos Impactos da Ecotoxicologia na Educação Infantil / Vanessa Johnsson Pereira. -- Paranaçuá-PR, 2026.

71 f.: il.

Orientador: Josiane Aparecida Gomes Figueiredo.

Coorientador: Ana Carolina de Deus Bueno Krawczyk.

Dissertação (Mestrado - Programa de Pós-Graduação Mestrado Acadêmico em Ambientes Litorâneos e Insulares) -- Universidade Estadual do Paraná, 2026.

1. Transposição didática. 2. Bioensaios. 3. Experimentação investigativa. 4. Registros infantis. 5. Contaminação ambiental. I - Gomes Figueiredo, Josiane Aparecida (orient). II - de Deus Bueno Krawczyk, Ana Carolina (coorient). III - Título.

ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

Na presente data realizou-se a sessão pública de defesa da Dissertação intitulada **Estratégias Didáticas Baseadas na Alfabetização Científica para promover a compreensão dos Impactos da Ecotoxicologia na Educação Infantil**, sob orientação de JOSIANE APARECIDA GOMES FIGUEIREDO e coorientação de ANA CAROLINA DE DEUS BUENO KRAWCZYK, apresentada pela discente **Vanessa Johnsson Pereira (20251PNG.PALI.20200033)** do Curso **MESTRADO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS - AMBIENTES LITORÂNEOS E INSULARES (Paranaguá)**. Os trabalhos foram iniciados às _____ pela Professora presidente da banca examinadora, constituída pelos seguintes membros:

- **Josiane Aparecida Gomes Figueiredo** (Presidente)
- **Ricardo Desiderio da Silva** (Examinador Interno)
- **Danielle Marafon** (Examinadora Externa)
- **Tania Zaleski** (Examinadora Suplente Interna)
- **Michele Cristina Nether** (Examinadora Suplente Interna)

A banca examinadora, tendo terminado a apresentação do conteúdo da Dissertação, passou à arguição da candidata. Em seguida, os examinadores reuniram-se para avaliação e deram o parecer final sobre o trabalho apresentado pela discente, tendo sido atribuído o seguinte resultado:

Aprovado

Reprovado

Nota (quando exigido): _____

Observação / Apreciações:

Proclamados os resultados pelo presidente da banca examinadora, foram encerrados os trabalhos e, para constar, eu **JOSIANE APARECIDA GOMES FIGUEIREDO** lavrei a presente ata que assino juntamente com os demais membros da banca examinadora.

Paranaguá / PR, 20/03/2026

Danielle Marafon

Ricardo Desiderio da Silva

Michele Cristina Nether

Josiane Aparecida Gomes Figueiredo

Tania Zaleski

Ata 562/2026.

Documento: **Ata_VanessaJohnssonPereira.pdf**.

Assinatura Avançada realizada por: **Josiane Aparecida Gomes Figueiredo (XXX.661.549-XX)** em 27/04/2026 15:02, **Ricardo Desiderio da Silva (XXX.005.689-XX)** em 27/04/2026 15:21 Local: UNESPAR/APC/COL/PED, **Danielle Marafon (XXX.931.509-XX)** em 27/04/2026 16:02 Local: UNESPAR/PGUA/COL/PED, **Michele Cristina Nether (XXX.789.909-XX)** em 27/04/2026 20:23 Local: CIDADAO, **Tania Zaleski (XXX.872.879-XX)** em 27/04/2026 20:41 Local: UNESPAR/PGUA/COL/BIO-L.

Inserido ao documento **2.104.989** por: **Josiane Aparecida Gomes Figueiredo** em: 27/04/2026 15:02.



Documento assinado nos termos do Art. 38 do Decreto Estadual nº 7304/2021.

A autenticidade deste documento pode ser validada no endereço:

<https://www.eprotocolo.pr.gov.br/spiweb/validarDocumento> com o código:
6384d05a9f3231b9f7ab627f2460c890

Dedico este trabalho a todos que, assim como eu, um dia acharam que alcançar o mestrado era um sonho distante. Que minha conquista sirva de prova de que nada é impossível quando acreditamos em nosso potencial e seguimos com coragem, fé e determinação.

AGRADECIMENTOS

Sou imensamente grata a Deus, que, com seu amor infinito, me capacitou, fortaleceu e sustentou durante toda a trajetória deste mestrado, desde o início até a sua conclusão.

Agradeço ao meu marido Giovani, e a minha filha Lívia, pela paciência nos momentos de ansiedade e por compartilharem comigo cada conquista ao longo desse percurso.

Expresso também meu profundo agradecimento aos meus pais e irmãos, que sempre me incentivaram e compreenderam minhas ausências em razão das demandas do mestrado.

À minha querida sogra Aide, expresso minha gratidão pelas orações e pela força espiritual que sempre me transmitiu.

Sou grata ainda aos colegas de profissão Antonio Gonçalves Nunes Neto, Fabíola Soares Arcega e Luciane Godoy Bonafini, que, por meio do curso ofertado e de suas valiosas orientações, me incentivaram e auxiliaram na compreensão da logística necessária para o ingresso no mestrado.

Agradeço a toda a equipe pedagógica e aos demais funcionários da escola em que trabalho, pelo acolhimento e apoio à realização da minha pesquisa, e de modo especial, aos alunos que participaram ativamente, interagindo e se envolvendo, cada um à sua maneira, nas atividades propostas.

Minha parceira Luciane Capetta merece um agradecimento especial, pois juntas iniciamos e concluímos esta caminhada, apoiando-nos mutuamente e enfrentando cada desafio com empenho e determinação.

Por fim, estendo minha gratidão a todos os colegas de turma e professores do Programa de Pós-Graduação em Ambientes Litorâneos e Insulares (PALI) e a Universidade Estadual do Paraná – *Campus* Paranaguá, que fizeram parte desta jornada, em especial à minha orientadora Dra. Josiane Aparecida Gomes Figueiredo, cuja dedicação, carinho e comprometimento foram essenciais para o meu crescimento acadêmico e pessoal.

RESUMO

A ecotoxicologia constitui uma temática ambiental relevante para a Educação Infantil, ao possibilitar a aproximação das crianças com a compreensão dos impactos da contaminação da água e do solo sobre os seres vivos. Esta pesquisa teve como objetivo analisar as contribuições da transposição didática de bioensaios da ecotoxicologia para a Educação Infantil, considerando o desenvolvimento de habilidades cognitivas e investigativas, bem como indícios de processos iniciais de alfabetização científica evidenciados nos desenhos, falas e registros das crianças. O estudo fundamentou-se em uma abordagem qualitativa e participativa, com base na perspectiva histórico-cultural e nos referenciais da alfabetização científica e da transposição didática. A metodologia envolveu o planejamento, a implementação e a análise de três transposições didáticas de bioensaios ecotoxicológicos. A primeira atividade consistiu na adaptação do Teste *Allium cepa*, mediada pela história “Cebolete, a detetive ambiental”, a partir da qual as crianças formularam hipóteses sobre os impactos da qualidade da água no desenvolvimento das cebolas. A segunda atividade, denominada “A fuga das minhocas”, buscou relacionar o comportamento desses organismos à qualidade do solo, por meio da observação da movimentação das minhocas em um terrário, após a contação da história “As descobertas de Luiz”. Por fim, na atividade de germinação de sementes de feijão, as crianças acompanharam o desenvolvimento das sementes expostas a substâncias domésticas, como detergente, água sanitária e óleo de cozinha usado, em diferentes concentrações, tendo a água como controle. Essa atividade possibilitou observar os efeitos da poluição aquática e compreender, concretamente, a relação dose-resposta, associando o aumento da concentração do poluente à inibição do crescimento das plantas. Os registros produzidos pelas crianças foram analisados qualitativamente a partir dos eixos, indicadores e habilidades de alfabetização científica. Os resultados indicaram que as crianças mobilizaram observação, comparação, organização de informações, levantamento de hipóteses, justificativas, explicações, proposição de soluções e formas iniciais de raciocínio lógico e proporcional. As atividades favoreceram a compreensão inicial de conceitos ecotoxicológicos, como qualidade da água, qualidade do solo, toxicidade, sensibilidade dos organismos e relação dose-resposta, além de estimular atitudes de cuidado com o ambiente. Conclui-se que a transposição didática de bioensaios ecotoxicológicos, quando mediada por estratégias lúdicas e investigativas, constitui uma possibilidade pedagógica potente para promover processos iniciais de alfabetização científica na Educação Infantil.

Palavras-chave: transposição didática; bioensaios; experimentação investigativa; registros infantis; contaminação ambiental.

ABSTRACT

Ecotoxicology constitutes a relevant environmental theme for Early Childhood Education, as it enables children to approach an understanding of the impacts of water and soil contamination on living organisms. This research aimed to analyze the contributions of the didactic transposition of ecotoxicological bioassays to Early Childhood Education, considering the development of cognitive and investigative skills, as well as evidence of initial processes of scientific literacy expressed in children's drawings, oral statements, and records. The study was grounded in a qualitative and participatory approach, based on the historical-cultural perspective and on theoretical references related to scientific literacy and didactic transposition. The methodology involved the planning, implementation, and analysis of three didactic transpositions of ecotoxicological bioassays. The first activity consisted of the adaptation of the *Allium cepa* test, mediated by the story "Cebolete, the environmental detective," through which the children formulated hypotheses about the impacts of water quality on onion development. The second activity, entitled "The escape of the earthworms," sought to relate the behavior of these organisms to soil quality through the observation of earthworm movement in a terrarium, after the storytelling activity "Luiz's discoveries." Finally, in the bean seed germination activity, the children observed the development of seeds exposed to household substances, such as detergent, bleach, and used cooking oil, at different concentrations, with water used as the control. This activity made it possible to observe the effects of aquatic pollution and to understand, through hands-on experience, the dose-response relationship, associating the increase in pollutant concentration with the inhibition of plant growth. The records produced by the children were qualitatively analyzed based on the axes, indicators, and skills related to scientific literacy. The results indicated that the children mobilized observation, comparison, organization of information, hypothesis formulation, justifications, explanations, problem-solving proposals, and initial forms of logical and proportional reasoning. The activities favored an initial understanding of ecotoxicological concepts, such as water quality, soil quality, toxicity, organism sensitivity, and dose-response relationships, in addition to encouraging attitudes of environmental care. It is concluded that the didactic transposition of ecotoxicological bioassays, when mediated by playful and investigative strategies, constitutes a powerful pedagogical possibility for promoting initial processes of scientific literacy in Early Childhood Education.

Keywords: didactic transposition; bioassays; investigative experimentation; children's records; environmental contamination.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Fantoche e Tabela confeccionados para atividades em sala	29
Figura 2: Montagem do experimento.....	31
Figura 3: Contação da história “As Descobertas de Luiz”	32
Figura 4: Etapas das atividades em sala.....	32
Figura 5: Etapas do experimento de germinação de sementes	34
Figura 6: Desenhos de três crianças de como o experimento foi realizado.....	36
Figura 7: Registro do fantoche utilizado em sala, a Cebolete, a detetive ambiental ..	37
Figura 8: Registro das observações de três crianças ao longo da realização do experimento.....	38
Figura 9: Registro das hipóteses de três crianças em relação à pergunta: “O que pode ter acontecido? Por que Luiz não encontrou nenhuma minhoca próxima da sua horta? Qual sua hipótese?”	41
Figura10: Registro das proposições de “Como Luiz pode fazer para resolver o problema?”	43
Figura 11: Registro das hipóteses para a pergunta: “Será que produtos de limpeza, como o detergente, a água sanitária ou o óleo de cozinha usado, ajudam as plantas a crescerem?	46
Figura 12: Registro do experimento de germinação de sementes de feijão	48
Figura 13: Registro do experimento de germinação de sementes de feijão	49

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	4
2.1 Objetivo Geral	4
2.2. Objetivos Específicos	4
3. REFERENCIAL TEÓRICO	5
3.1 A Ecotoxicologia e os Bioensaios	5
3.2 Bioensaios da ecotoxicologia	9
3.2.1 Teste <i>Allium cepa</i>	10
3.2.2 Teste de fuga	15
3.2.3 Germinação de sementes	18
3.3 A Alfabetização Científica (AC)	20
3.4 Transposição didática	25
4. PERCURSO METODOLÓGICO	27
4. 1 Transposição didática: “Cebolete, a detetive ambiental”	28
4.2 Transposição didática: Contação da história “As Descobertas de Luiz”	31
4.3 Transposição didática: Germinação de sementes de feijão	33
4.4 Interpretação dos resultados:	34
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	36
5.1 Transposição didática: “Cebolete, a detetive ambiental”	36
5.2 Transposição didática: Contação da história “As Descobertas de Luiz”	40
5.3 Transposição didática: Germinação de sementes de feijão	45
6. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS:	50
7. Declaração de Uso de Inteligência Artificial	52
8. REFERÊNCIAS	52
ANEXOS	57

1. INTRODUÇÃO

A alfabetização científica (AC) em ecotoxicologia na Educação Infantil pode parecer desafiadora, mas representa uma rica oportunidade de formação, especialmente ao considerar que a ecotoxicologia é um campo científico relativamente recente que investiga e busca prevenir os efeitos nocivos de substâncias químicas no ambiente, integrando conhecimentos de toxicologia, ecologia e química para compreender como poluentes afetam a estrutura, o funcionamento e o comportamento de populações e comunidades, permitindo a identificação e mitigação de riscos à biodiversidade (Saaristo *et al.*, 2018).

Grande parte da contaminação da biosfera resulta de atividades humanas, seja pelo uso inadequado de produtos químicos, seja pelo descarte impróprio de resíduos (Marumure *et al.*, 2024). Compostos tóxicos podem provocar alterações fisiológicas e moleculares, afetar o crescimento e modificar o comportamento de organismos, com impactos que se propagam por cadeias alimentares inteiras (Ford *et al.*, 2022).

Singh *et al.* (2021) descrevem os pesticidas como os principais poluentes frequentemente associados a distúrbios reprodutivos e anomalias cromossômicas; os ftalatos, presentes em plásticos, podem provocar desordens endócrinas e neurotoxicidade, além dos metais pesados como o chumbo, que prejudicam funções imunológicas e bioquímicas.

As vias de exposição são variadas. As plantas absorvem toxinas pelas raízes e folhas, enquanto animais e seres humanos podem ser contaminados pelo ar, pelo contato direto ou pela ingestão de alimentos e água contaminados (Marumure *et al.*, 2024). O solo funciona como um reservatório de substâncias perigosas, acumulando dioxinas, pesticidas e metais que comprometem a qualidade e a atividade microbiana (Ford *et al.*, 2022). Nos ecossistemas aquáticos, os contaminantes chegam por efluentes industriais e domésticos, alterando o crescimento e o metabolismo de espécies marinhas (Singh, *et al.*, 2021).

Os efeitos da exposição dependem da persistência dos compostos e da sensibilidade das espécies. A longo prazo, podem surgir alterações reprodutivas, tumores, defeitos de desenvolvimento e desregulação hormonal, comprometendo a aptidão ecológica das populações. Em escala maior, os poluentes desequilibram relações predador-presa, afetam fluxos de matéria e energia e podem levar ao desaparecimento de organismos-chave.

Após a Segunda Guerra Mundial, a crescente preocupação com os riscos ambientais ganhou força e ajudou a consolidar uma nova percepção pública sobre os perigos da poluição. Um marco fundamental foi a publicação do livro *Silent Spring (Primavera Silenciosa)* de Rachel Carson, em 1962. Este livro seminal foi um dos primeiros a relatar o declínio drástico

nas populações de aves devido aos inseticidas organoclorados e alertou o público sobre os impactos críticos não intencionais de produtos químicos tóxicos na vida selvagem (Fritsch *et al.*, 2025).

Nos últimos anos, os poluentes emergentes passaram a receber maior atenção da comunidade científica. Entre eles estão fármacos, hormônios (Akhtar *et al.*, 2021), microplásticos e nanopartículas, substâncias que, mesmo em quantidades reduzidas, podem provocar alterações no comportamento e na fisiologia de diversos organismos (Boros e Ostafe, 2020). Paralelamente, compostos industriais persistentes, como os bifenilos policlorados (PCBs), dioxinas e surfactantes sintéticos, continuam sendo amplamente monitorados devido à sua alta toxicidade e resistência à degradação ambiental (Singh, *et al.*, 2021).

O estudo da ecotoxicologia na Educação Infantil torna-se importante porque amplia, desde cedo, a compreensão das crianças sobre a relação entre ações humanas e a saúde do ambiente, aproximando o conhecimento científico de situações concretas do cotidiano. Ao compreender, de maneira lúdica e adequada à idade, que o uso excessivo de produtos químicos, o descarte incorreto de resíduos e a poluição do ar e da água afetam plantas, animais e pessoas, as crianças passam a desenvolver habilidades de observação, estabelecimento de relações de causa e efeito e construção de conceitos científicos iniciais, fundamentais para o letramento científico ao longo da escolarização.

Nesse contexto, é fundamental empregar metodologias que incentivem a investigação, a observação de fenômenos, a formulação de hipóteses e a análise de dados (Silva e Sasseron, 2021), bem como a adequação da linguagem e a elaboração de atividades e experimentos interativos compatíveis com o público infantil (Marques e Marandino, 2019).

Essa perspectiva alinha-se aos princípios da Base Nacional Comum Curricular (BNCC) (BRASIL, 2017) e do Referencial Curricular do Paraná (PARANÁ, 2018), na medida em que ambos os documentos enfatizam o desenvolvimento integral da criança, a aprendizagem por meio da investigação e a educação ambiental como eixo estruturante da formação, promovendo a articulação entre conhecimentos científicos e experiências do cotidiano.

Ademais, neste trabalho, a ecotoxicologia articula-se aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável propostos pela Organização das Nações Unidas (ONU, 2015), especialmente aos ODS 3 (Saúde e Bem-Estar), 14 (Vida na Água) e 15 (Vida Terrestre). Sua inserção não se configura apenas como referência temática, mas como eixo formativo que aproxima ciência, educação ambiental e responsabilidade socioambiental desde a Educação Infantil.

No âmbito do ODS 3, contribui para evidenciar que a exposição a substâncias tóxicas presentes no ar, na água, no solo e nos alimentos pode afetar o bem-estar humano e coletivo. Em relação ao ODS 14, favorece a abordagem dos impactos de resíduos e contaminantes sobre os ecossistemas aquáticos, promovendo a reflexão sobre atitudes cotidianas de cuidado com rios, mares e organismos aquáticos. Já o ODS 15 permite discutir os efeitos de poluentes sobre o solo, as plantas e os animais, destacando a importância da conservação da vida terrestre.

A mediação pedagógica ao longo das atividades foi conduzida pela professora da turma, Vanessa Johnsson Pereira, profissional com 21 anos de experiência no magistério, sendo 15 deles dedicados à Educação Infantil. Ao ingressar no mestrado, ampliou sua compreensão teórico-metodológica sobre ecotoxicologia e a AC, fortalecendo a intencionalidade pedagógica das práticas desenvolvidas com as crianças.

Ao desenvolver propostas investigativas e lúdicas mediadas pela professora responsável, por meio de transposições didáticas de três bioensaios da ecotoxicologia, este estudo buscou demonstrar que a AC pode emergir nos primeiros anos escolares. Assim, o trabalho propôs não apenas apresentar conceitos de ecotoxicologia, mas transformá-los em experiências pedagógicas acessíveis, sensíveis e significativas, nas quais a criança observa, questiona, formula hipóteses que podem contribuir para a criança desenvolver, gradualmente, percepções iniciais sobre a relação entre suas ações cotidianas e o ambiente em que vive.

Para Ranthum, Silva e Frasson (2023), a transposição didática implica que o conhecimento não é transmitido tal qual ele foi produzido, mas passa por uma adaptação complexa que envolve a reorganização, simplificação, planejamento e mediação, para adequar o saber às necessidades educativas e às capacidades dos estudantes.

Nesse horizonte, integrar estudo científico, experimentação, ludicidade e realidade ambiental revela-se um caminho potente para o desenvolvimento de aprendizagens críticas e contextualizadas. Ao demonstrar que é possível trabalhar ecotoxicologia com crianças de forma ética, criativa e intencional, este estudo visa ampliar o diálogo sobre AC na Educação Infantil e fortalecer a construção de práticas pedagógicas que promovam novos olhares, estimulando e inspirando profissionais da educação assim como outros pesquisadores.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

- Analisar as contribuições da transposição didática de bioensaios da ecotoxicologia para a Educação Infantil, considerando o desenvolvimento de habilidades cognitivas e investigativas, bem como os processos iniciais de alfabetização científica evidenciados nos desenhos, falas e registros das crianças sobre a contaminação ambiental.

2.2. Objetivos Específicos

- Realizar a transposição didática, para o uso na educação infantil, de três bioensaios da ecotoxicologia: Teste *Allium cepa*, Teste de fuga e de Germinação de sementes;

- Implementar as três transposições didáticas dos bioensaios junto a uma turma de educação infantil no município de Paranaguá.

- Estimular a AC por meio de experimentos e relatos orientados, permitindo que as crianças observem, registrem, comparem resultados e construam explicações sobre os impactos da contaminação ambiental.

- Estimular o levantamento de hipóteses, justificativa, previsão para explicar os fenômenos observados durante a realização das atividades experimentais e lúdicas dos três bioensaios da ecotoxicologia;

- Avaliar o desenvolvimento de habilidades cognitivas e investigativas das crianças, incluindo observação, comparação, análise crítica e resolução de problemas, por meio da realização dos experimentos didáticos propostos nas transposições;

- Analisar qualitativamente os desenhos, falas e registros produzidos pelas crianças durante as transposições didáticas dos bioensaios ecotoxicológicos, considerando os eixos, indicadores e habilidades de AC mobilizados nas atividades.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 A Ecotoxicologia e os Bioensaios

A ecotoxicologia é um ramo da toxicologia ambiental que estuda os efeitos nocivos provocados à biota, ou seja, os organismos vivos no ambiente, decorrentes da exposição a agentes tóxicos. Enquanto a toxicologia ambiental costuma focar nos efeitos sobre a saúde humana, a ecotoxicologia direciona seu foco principalmente aos demais seres vivos e aos ecossistemas.

Conforme Azevedo e Chasin (2003), “a ecotoxicologia pode ser definida como o estudo do destino e dos efeitos das substâncias químicas nos ecossistemas, considerando tanto métodos de laboratório quanto de campo, e relacionando suas interações e atuações nos organismos vivos”. Ou seja, a ecotoxicologia, fundamentada em princípios da toxicologia clássica, busca compreender como substâncias químicas interferem na integridade ecológica, considerando desde os mecanismos celulares até as consequências para os ecossistemas e a sustentabilidade ambiental.

Singh *et al.* (2021) destacam que, enquanto a toxicologia ambiental foca nos efeitos tóxicos sobre indivíduos, órgãos, tecidos, células, organelas e reações bioquímicas específicas. Ou seja, avalia o impacto de agentes tóxicos em níveis mais restritos e individuais. Por outro lado, a ecotoxicologia é o estudo dos efeitos de produtos químicos tóxicos na estrutura, função e comportamento da biodiversidade em níveis populacionais, comunitários e ecossistêmicos. Ela investiga como os contaminantes ambientais afetam organismos em níveis maiores de organização biológica, abrangendo populações, comunidades e ecossistemas na totalidade.

No entanto, em Azevedo e Chasin (2003), a ecotoxicologia aplica os princípios da toxicologia, tais como dose, efeito, mecanismo de ação e risco, à escala ecológica, conectando respostas individuais às consequências para populações e ecossistemas.

Para Singh *et al.* (2021) ecotoxicologia é uma disciplina relativamente nova e interdisciplinar que integra toxicologia, ecologia e química, ampliando o foco da toxicologia tradicional. Assim, os princípios fundamentais da toxicologia, como dose, resposta, mecanismo de ação e limiar de toxicidade, são aplicados e reinterpretados à luz da complexidade ecológica e das interações ambientais.

Na toxicologia tradicional, a relação dose-resposta constitui o eixo central da avaliação de toxicidade (Azevedo e Chasin, 2003). Esse princípio estabelece que os efeitos de

uma substância dependem da dose administrada, conforme a máxima paracelsiana “a dose faz o veneno”. Na ecotoxicologia, o mesmo conceito é empregado, porém adaptado às condições ambientais: avalia-se a concentração do contaminante no meio (água, solo ou sedimento) e a resposta de organismos expostos em diferentes níveis biológicos.

A relação dose-resposta descreve como a magnitude do efeito biológico ou tóxico varia em função da dose ou concentração do contaminante ao qual o organismo está exposto (Silva, Pompêo e Paiva, 2015). Assim, para determinar o grau de toxicidade de um efluente, por exemplo, são feitas diluições em diversas concentrações e os organismos são expostos a essas diferentes doses e, a resposta dos organismos (mortalidade, imobilidade etc.) é então analisada estatisticamente para estabelecer a concentração efetiva que causa um efeito em 50% da população (Concentração Eficaz 50% - CE-50).

Os parâmetros CL_{50} (Concentração Letal 50%) e CE_{50} (Concentração Eficaz 50%) são indicadores fundamentais para avaliação da toxicidade e ecotoxicidade (Azevedo e Chasin, 2003). O CL_{50} refere-se à concentração de um contaminante capaz de causar a morte de 50% dos organismos expostos em um determinado período, sendo uma medida direta da toxicidade letal. Em contrapartida, o CE_{50} representa a concentração que causa um efeito específico em 50% dos organismos, podendo ser subletal, como alteração comportamental, fisiológica ou reprodutiva, sendo, portanto, um parâmetro mais abrangente para avaliar impactos subletais e fisiológicos.

Outro conceito herdado da toxicologia é a distinção entre efeitos agudos e crônicos. Na toxicologia humana e animal, os efeitos agudos estão associados à exposição de curta duração e alta dose, enquanto os efeitos crônicos resultam de exposições prolongadas a baixas doses (Sisino e Oliveira-Filho, 2021). Na ecotoxicologia, essa distinção mantém-se, mas é ampliada para considerar não somente o impacto sobre organismos isolados, mas também sobre processos ecológicos, como reprodução, crescimento populacional e estrutura trófica. Assim, os efeitos crônicos tornam-se especialmente relevantes na análise de impactos ambientais persistentes e de poluentes de longa duração.

Os mecanismos de ação tóxica, originalmente estudados na toxicologia em nível bioquímico e fisiológico, também são incorporados pela ecotoxicologia, mas com uma abordagem sistêmica (Azevedo e Chasin, 2003). As alterações metabólicas, enzimáticas ou hormonais observadas em organismos expostos a contaminantes são interpretadas como possíveis causas de efeitos em larga escala, como a redução da produtividade primária, o comprometimento da reprodução de espécies ou a alteração da dinâmica de comunidades aquáticas.

Além disso, a toxicologia fornece à ecotoxicologia conceitos fundamentais relacionados aos processos de bioacumulação, biotransformação e biomagnificação. Esses fenômenos descrevem, respectivamente, o acúmulo de substâncias tóxicas nos tecidos de um organismo, sua metabolização em compostos menos ou mais tóxicos e o aumento progressivo da concentração de contaminantes ao longo das cadeias alimentares (Azevedo e Chasin, 2003). Na perspectiva ecotoxicológica, esses processos são essenciais para compreender o transporte e a amplificação de poluentes nos ecossistemas, especialmente aqueles persistentes e lipofílicos, como metais pesados e pesticidas organoclorados.

A bioacumulação, refere-se ao processo pelo qual os organismos absorvem e acumulam contaminantes em seus tecidos em concentrações maiores do que as presentes no ambiente (Sisinno e Oliveira-Filho, 2021). Isso ocorre devido à absorção contínua de contaminantes presentes na água ou no alimento, e o acúmulo acontece quando a taxa de absorção é maior do que a taxa de eliminação desses compostos.

Um exemplo citado por Marumure *et al.* (2024) é a bioacumulação de antibióticos em organismos aquáticos. Li, Sun e Li (2022) destacam que substâncias per- e polifluoroalquiladas¹ (PFAS), podem se bioacumular em plantas a partir da absorção de PFAS via raízes do solo ou pela superfície foliar da atmosfera, acumulando essas substâncias nos seus tecidos.

A biotransformação é o processo metabólico pelo qual os organismos modificam quimicamente os contaminantes, transformando-os em substâncias mais hidrofílicas para facilitar a excreção (Sisinno e Oliveira-Filho, 2021). No entanto, esse processo pode reduzir ou, em alguns casos, aumentar a toxicidade dos compostos. Para os PFAS, essa transformação é limitada devido à sua estabilidade química (Li, Sun e Li, 2022). Assim como os PFAS, o chumbo tem sua biotransformação limitada, já que o metal não sofre alterações químicas significativas no organismo, dificultando sua eliminação.

No trabalho de revisão realizado por Swaringen *et al.* (2022), os autores destacam que a contaminação por chumbo em crianças constitui um grave problema de saúde pública, devido à ampla presença desse metal no ambiente e à ausência de um nível seguro de

¹ As substâncias per- e polifluoroalquil (PFAS) são uma ampla classe de compostos químicos sintéticos caracterizados pela presença de ligações carbono-flúor muito fortes, que conferem a essas substâncias alta estabilidade química e resistência à degradação ambiental. Elas são amplamente utilizadas em diversos produtos industriais e de consumo devido às suas propriedades hidrofóbicas e lipofóbicas, como revestimentos antiaderentes, espumas contra incêndio, têxteis e embalagens de alimentos. Devido à sua persistência, os PFAS são denominados "substâncias químicas persistentes", pois não se degradam facilmente no ambiente, levando à sua acumulação em solos, águas, organismos vivos e cadeias alimentares (LI, SUN e LI, 2022).

exposição. Diversas fontes contribuem para a intoxicação infantil, entre as principais, destacam-se o solo contaminado, frequentemente em áreas próximas a indústrias, o contato com produtos importados que contenham chumbo, como cosméticos e medicamentos, amplia ainda mais as possibilidades de exposição cotidiana.

Na revisão, os autores destacam que estudos comprovam que não existe um limite seguro de exposição, mesmo concentrações muito baixas no sangue podem comprometer o desenvolvimento neurológico e cognitivo, afetando a capacidade de aprendizagem, atenção e comportamento. Além disso, o chumbo interfere em processos fisiológicos fundamentais, provocando anemia, prejuízos no crescimento, distúrbios motores e alterações metabólicas. Os danos cerebrais e comportamentais resultantes podem se manifestar ao longo de toda a vida, reduzindo o potencial intelectual e a qualidade de vida das vítimas.

A biomagnificação descreve o aumento da concentração de contaminantes à medida que se avança na cadeia alimentar, ou seja, organismos em níveis tróficos mais altos acumulam maiores concentrações de certos contaminantes devido ao consumo de organismos contaminados (Sisino e Oliveira-Filho, 2021). Isso representa um risco para predadores, incluindo humanos que consomem peixes e outros organismos aquáticos contaminados.

Um exemplo citado é o diclorodifeniltricloroetano (DDT) que, a partir de níveis muito baixos em sedimentos, pode alcançar concentrações milhares de vezes maiores em aves predadoras, conforme Carson (1962) demonstrou como pesticidas persistentes, como o DDT, se acumulam nos tecidos de organismos e se concentram progressivamente em predadores de topo, levando a efeitos ecológicos severos, como o afinamento das cascas de ovos e o declínio populacional de aves.

A noção de limiar de toxicidade, central na toxicologia, é igualmente aplicada na ecotoxicologia, mas com foco ambiental (Azevedo e Chasin, 2003). Enquanto a toxicologia busca identificar a dose mínima capaz de causar efeito adverso em um organismo, a ecotoxicologia define concentrações ambientais seguras, que servem como base para estabelecer critérios de qualidade ambiental e limites legais de poluentes. Essa abordagem integra a variabilidade biológica e ambiental, reconhecendo que fatores como pH, temperatura, salinidade, oxigênio dissolvido e disponibilidade de nutrientes podem modular a toxicidade das substâncias em ecossistemas naturais.

Os bioensaios, outro instrumento herdado da toxicologia experimental, são amplamente utilizados na ecotoxicologia para avaliar o potencial tóxico de efluentes, solos e corpos d'água (Azevedo e Chasin, 2003). Eles representam ferramentas centrais na ecotoxicologia,

ao permitirem avaliar integradamente a qualidade ambiental e detectar a toxicidade de substâncias ou misturas químicas em ecossistemas aquáticos.

Os testes ecotoxicológicos utilizam organismos bioindicadores, como algas, microcrustáceos, peixes e insetos aquáticos, para monitorar o potencial tóxico de águas de rios, lagos e reservatórios, frente ao crescente problema da poluição desses ambientes. Esses organismos funcionam como sentinelas ambientais, reagindo fisiológica ou comportamentalmente à presença de contaminantes e permitindo, assim, a identificação de riscos que muitas vezes não são detectados somente por análises químicas.

Um aspecto relevante é que não existe um bioensaio universal, uma vez que os resultados dependem das características biológicas dos organismos-teste e das propriedades físico-químicas das substâncias avaliadas. Dessa forma, a escolha do organismo e do tipo de teste deve considerar o objetivo da análise e a matriz ambiental investigada. A diversidade de respostas biológicas observadas, tais como a mortalidade, crescimento, reprodução, alterações morfológicas ou genotóxicas, fornece dados valiosos que permitem inferir impactos ambientais em múltiplos níveis de organização biológica, do individual ao comunitário (Silva, Pompêo e Paiva, 2015).

Outra contribuição essencial dos bioensaios é a capacidade de revelar os efeitos combinados de misturas complexas de poluentes, frequentemente encontradas em ambientes naturais. Enquanto as análises químicas identificam substâncias isoladas, os bioensaios expressam efeitos sinérgicos, antagônicos ou aditivos, traduzindo a toxicidade efetiva do meio. Por isso, são amplamente aplicados em avaliações de efluentes industriais, águas superficiais, sedimentos, solos e substâncias químicas específicas, servindo tanto para monitoramento ambiental quanto para verificação de conformidade com legislações ambientais.

3.2 Bioensaios da ecotoxicologia

Os bioensaios ecotoxicológicos configuram-se como ferramentas fundamentais, pois permitem avaliar, de forma controlada, as respostas biológicas de organismos expostos a diferentes tipos de estressores ambientais, integrando informações sobre toxicidade, biodisponibilidade e efeitos subletais (Singh *et al.* 2021; Sparling, 2016; Newman, 2019).

A literatura aponta a existência de uma ampla diversidade de bioensaios, que variam quanto aos organismos-teste, aos parâmetros avaliados e à complexidade experimental, possibilitando aplicações tanto em pesquisas científicas quanto em contextos educativos (Niva e Brown, 2019; Sparling, 2016; Rodrigues, *et al.* 2022; Thomas e Krawczyk, 2023). No

entanto, em função dos objetivos didáticos e metodológicos deste trabalho, optou-se por um recorte específico, contemplando três bioensaios amplamente reconhecidos pela sua simplicidade, reprodutibilidade e relevância pedagógica.

3.2.1 Teste *Allium cepa*

A cebola (*Allium cepa*) é amplamente utilizada em bioensaios destinados à identificação de toxicidade, por meio da avaliação de biomarcadores associados a efeitos tóxicos, citotóxicos, genotóxicos e mutagênicos. O uso de *A. cepa* como bioindicador tem como objetivo detectar a presença de substâncias potencialmente contaminantes em amostras de água, permitindo estimar diferentes níveis de impacto sobre os organismos e o ambiente (Leme e Marin-Morales, 2009; Tedesco e Laughinghouse, 2012).

O teste com *A. cepa* é amplamente utilizado como uma ferramenta eficiente e acessível para a avaliação da qualidade da água, especialmente na detecção de agentes tóxicos, citotóxicos, genotóxicos e mutagênicos presentes em ambientes aquáticos. Almeida *et al.* (2021) destacam que embora esse bioensaio forneça importantes evidências sobre o potencial tóxico das amostras analisadas, ele não permite assegurar, definitivamente, a presença ou ausência de contaminação. Em vez disso, o método atua como um indicador preliminar, sinalizando a existência de riscos relacionados à toxicidade e possibilitando a identificação de impactos potenciais sobre os ecossistemas.

O bioensaio *A. cepa* para detecção de genotoxicidade foi criado por Levan em 1938. Posteriormente, em 1985, Fiskesjö realizou as primeiras adaptações do teste para uso no monitoramento ambiental, expondo bulbos de cebola a amostras de água contaminadas e verificando seus efeitos no crescimento das raízes.

O Programa Internacional de Segurança Química (PISQ), vinculado à Organização Mundial da Saúde (OMS), à Organização Internacional do Trabalho (OIT) e ao Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), reconhece o teste com *A. cepa* como um bioindicador útil para avaliação preliminar da toxicidade ambiental, em especial em estudos de risco químico e poluição. O PNUMA, por exemplo, também o menciona em relatórios técnicos e guias de biossegurança como um método alternativo, ético e de relevância ecológica, particularmente em contextos em que se busca reduzir o uso de organismos animais em testes laboratoriais (NICUȚĂ *et al.* 2025).

Fiskesjö (1985) e Leme e Marin-Morales (2009) reforçam que o teste com *A. cepa* apresenta boa correlação com resultados obtidos em sistemas animais e celulares humanos,

o que consolidou seu uso como modelo complementar de avaliação toxicológica. Entretanto, conforme salientam Almeida *et al.* (2021), o método também apresenta algumas limitações, como a incapacidade de detectar efeitos subcelulares ou metabólicos, além da possibilidade de interferência de fatores padronizáveis, entre eles, a idade dos bulbos, as condições de cultivo e a concentração das substâncias testadas.

Tedesco e Laughinghouse (2012) afirmam que *A. cepa*, popularmente conhecida como cebola, tem se destacado como um modelo biológico eficaz em bioensaios destinados à identificação de agentes citogenotóxicos, por ser considerado simples de realizar, possui baixo custo, requer pouca infraestrutura laboratorial e utiliza bulbos de fácil obtenção. Além disso, Parvan *et al.* (2020) mencionam que suas células possuem cromossomos grandes e em número reduzido, facilitando a observação microscópica de alterações genéticas e estruturais.

Alias *et al.* (2023) corroboram com os autores anteriores e acrescentam que o teste com *A. cepa* apresenta alta correlação com os resultados obtidos em testes com mamíferos, o que reforça sua confiabilidade e relevância como ferramenta preliminar para avaliar os efeitos tóxicos e genotóxicos de substâncias químicas. Além disso, os autores enfatizam seu alinhamento com os princípios das 3Rs (Substituição, Redução e Refinamento), evidenciando que o uso desse bioensaio representa uma alternativa ética e eficaz aos testes toxicológicos baseados em animais na triagem inicial de novos compostos químicos.

Os poluentes ambientais podem interferir na divisão celular das plantas, inibindo-a ou estimulando-a desordenadamente, com potenciais consequências negativas para o organismo vegetal. Segundo Fiskesjo (1985), a presença de substâncias tóxicas pode prejudicar o crescimento da raiz, reduzindo o comprimento e alterando sua morfologia, evidenciando danos celulares e afetando a capacidade de absorção de água e nutrientes.

Diferentes mecanismos celulares e genotóxicos podem ser identificados por meio do bioensaio com *A. cepa*, possibilitando a avaliação dos efeitos nocivos de agentes químicos e físicos presentes no ambiente. Entre esses mecanismos, destacam-se as alterações cromossômicas, que correspondem a alterações estruturais ou numéricas nos cromossomos durante a divisão celular (como quebras, pontes, cromossomos atrasados e multipolaridade) sendo reconhecidas como importantes indicadores de danos ao material genético ocasionados por agentes mutagênicos ou clastogênicos (Leme e Marin-Morales, 2009).

Conforme apresentado pelas autoras Tedesco e Laughinghouse (2012), as alterações cromossômicas podem ocorrer em diferentes fases da mitose, destacando-se como

importantes marcadores de genotoxicidade. Além disso, a formação de micronúcleos representa um biomarcador amplamente utilizado para detectar instabilidade genômica decorrente da exposição a agentes tóxicos ambientais, refletindo fragmentação e perda de material genético sensíveis ao estresse genotóxico.

De acordo com Leme e Marin-Morales (2009), outro parâmetro importante no bioensaio com *A. cepa* é o crescimento radicular, cuja inibição evidencia efeito citotóxico, interferindo em processos fisiológicos essenciais, como a germinação e a alongação celular. Complementarmente, o Índice Mitótico (IM) fornece uma medida quantitativa da atividade de divisão celular, sendo que a redução do IM após exposição a agentes tóxicos indica efeitos citotóxicos e possíveis erros na segregação cromossômica, como atrasos ou formação de pontes. Alterações morfológicas das radículas, como deformidades no tamanho, forma, textura ou cor, também representam sinais de estresse tóxico, indicando impactos negativos no desenvolvimento vegetal.

A utilização do bioensaio com *A. cepa* como ferramenta para avaliação da toxicidade ambiental fundamenta-se em sua alta sensibilidade na detecção de agentes mutagênicos e citogenotóxicos. O crescimento e a intensa atividade mitótica das células meristemáticas das raízes da cebola permitem a observação direta de alterações cromossômicas, aberrações e micronúcleos, ou seja, biomarcadores fundamentais para a identificação de agentes mutagênicos presentes em amostras de água contaminada (Bailão *et al.*, 2020).

Malakahmad *et al.* (2018) evidenciaram que tanto as amostras de água tratada quanto as amostras de água bruta (água coletada diretamente da bacia hidrográfica antes de passar pelo processo de tratamento nas estações de tratamento de água) apresentam efeitos genotóxicos significativos comprovados pelo ensaio com *A. cepa*. Esses efeitos foram caracterizados por alterações cromossômicas, como pontes, quebras de cromossomos, perda e atraso cromossômico, binucleações, indicando a presença de poluentes carcinogênicos e genotóxicos mesmo após o tratamento da água.

Além disso, foi observado pelos autores, que os índices mitóticos variam significativamente em comparação com os controles, refletindo efeitos citotóxicos nas amostras analisadas. Os níveis de genotoxicidade encontraram-se em categorias de ameaça alta ($\geq 15\%$) e crítica ($\geq 23\%$) para ambas as águas bruta e tratada, mesmo que os parâmetros comuns de qualidade de água estivessem dentro das faixas estabelecidas pelas autoridades.

Os valores Concentração Efetiva (CE) referem-se às concentrações de uma substância química que provocam um efeito específico em uma população testada, expressos em

porcentagens de resposta em relação ao controle. No contexto do teste *Allium cepa*, os valores EC10, EC50 e EC90 indicam, respectivamente, as concentrações que causam 10%, 50% e 90% de efeito tóxico, como a inibição do crescimento das raízes, em comparação com as plantas não expostas ao toxicante. O valor EC50 é o mais comumente utilizado para expressar a sensibilidade de um organismo a uma substância, servindo como parâmetro quantitativo para avaliar e comparar a toxicidade de diferentes agentes.

Fiskesjö (1985) avaliou a toxicidade de uma ampla gama de substâncias químicas, incluindo metais pesados, compostos orgânicos tóxicos, solventes e complexas misturas industriais, utilizando o teste *A. cepa* como modelo biológico. Segundo o autor, o teste demonstra uma clara relação dose-resposta, evidenciada por meio dos valores EC10, EC50 e EC90, que indicam as concentrações dos compostos capazes de causar efeitos específicos de restrição no crescimento das raízes em comparação ao controle. À medida que a concentração da substância tóxica aumentou, observou-se uma intensificação progressiva dos efeitos adversos, como a redução do crescimento radicular e alterações microscópicas celulares, destacando a sensibilidade do sistema em detectar danos mesmo em baixas doses.

Essa dependência gradual da resposta em função da dose permite quantificar efetivamente a toxicidade dos agentes testados, tornando o teste *A. cepa* uma ferramenta confiável para avaliação ambiental e monitoramento de contaminantes complexos, inclusive em misturas industriais. Dessa forma, a relação dose-resposta é fundamental para a interpretação dos resultados e para a comparação da toxicidade relativa entre diferentes substâncias e sistemas biológicos.

Nicuță *et al.* (2025), apresentaram uma ampla revisão sobre diversos extratos vegetais avaliados utilizando o modelo *A. cepa* para estudos citogenotóxicos. Entre os extratos mencionados, destacam-se diversos tipos de plantas, órgãos vegetais e tipos de extração. Os autores também observam que a interpretação dos resultados do teste depende fortemente da relação dose-resposta. Isso significa que, geralmente, o aumento da concentração do extrato vegetal ou o prolongamento do tempo de exposição das raízes da cebola ao extrato pode aumentar os efeitos citotóxicos e genotóxicos.

Além disso, as condições experimentais, como o tipo de extração do material vegetal (aquosa, metanólica, hidroalcoólica ou óleo essencial), o estado da planta (folhas frescas, secas, trituradas), o método e tempo de exposição no ensaio são fatores que influenciam diretamente na manifestação dos efeitos detectados. Essa variabilidade reforça a importância de se realizar avaliações de biossegurança específicas para cada planta e para as condições particulares de extração e uso, pois o perfil toxicológico não pode ser generalizado

ao reino vegetal, devido à complexidade química e à interação de compostos presentes nos extratos.

Alias *et al.* (2023) avaliaram moléculas antifúngicas sintetizadas a partir de quatro compostos naturais: jasmona, heptanal, cinamaldeído, derivados de antraquinona e de tios-semicarbazona. Os achados principais evidenciam que, apesar da boa atividade antifúngica, as moléculas causaram efeitos tóxicos e genotóxicos relevantes nas raízes de *A. cepa*.

Além disso, todos os compostos apresentaram atividade genotóxica clara, tanto em termos de alterações cromossômicas quanto de formação de micronúcleos. Dessa forma, o estudo reforça a adequação do teste não só como modelo tóxico e genotóxico, mas também como uma ferramenta útil e robusta para a triagem inicial de novos compostos antes da liberação ambiental, especialmente de moléculas antifúngicas.

Bonciu *et al.* (2018) apresentam contribuições importantes visando a padronização e a melhoria da confiabilidade do ensaio *A. cepa* como ferramenta de avaliação citotóxica e genotóxica. Eles ressaltam a necessidade de caracterizar e padronizar o cultivar de *A. cepa* usado nos estudos, pois a variação intraespecífica pode afetar os resultados e dificultar a generalização dos dados. Os resultados da pesquisa chamam atenção para a prática pouco usual de não especificar os cultivares empregados nas pesquisas, o que é um gargalo para comparações interlaboratoriais. Os autores também mencionam a combinação do teste com análises químicas e outros biomarcadores para avaliação da efetividade de tratamentos ambientais e a qualidade de amostras poluídas, ampliando o escopo do uso do ensaio.

Leme e Marin-Morales (2009) destacam a ampla aplicabilidade do teste *A. cepa* em contextos científicos e educacionais. As autoras consideram como um método de fácil execução e baixo custo, possibilitando sua adoção em laboratórios com infraestrutura limitada, tanto em instituições de ensino quanto em centros de pesquisa.

No campo didático, as autoras sugerem que o teste oferece aos estudantes a oportunidade de observar diretamente os efeitos de agentes genotóxicos e mutagênicos, como alterações cromossômicas e redução do índice mitótico. Essa característica contribui para a compreensão prática de conceitos fundamentais relacionados à genotoxicidade, mutagenicidade e toxicologia ambiental, configurando-se como um recurso pedagógico relevante para a alfabetização científica e para um entendimento de ações de preservação ambiental.

Em pesquisas, o ensaio pode ser amplamente empregado no monitoramento da qualidade ambiental, permitindo avaliar os impactos de diferentes poluentes, como metais, pesticidas e efluentes urbanos, sobre o material genético das células radiculares. Dessa forma,

contribui para a identificação e a avaliação de riscos associados à presença de substâncias químicas no ambiente.

3.2.2 Teste de fuga

O ensaio de fuga constitui um método ecotoxicológico amplamente utilizado para avaliar o comportamento de oligoquetas, especialmente das espécies *Eisenia fetida* e *Eisenia andrei*, frente à presença de contaminantes no solo (Niva e Brown, 2019). Fundamentado na capacidade desses organismos de detectar e evitar substâncias potencialmente tóxicas, o ensaio analisa o comportamento de evasão como uma resposta de estresse ambiental. Tal reação indica a existência de efeitos subletais, que podem comprometer a função ecológica do solo e a integridade do habitat, fornecendo informações relevantes sobre a qualidade e a saúde ambiental do ecossistema edáfico.

A metodologia do teste baseia-se na exposição das minhocas a dois tipos de solo um controle e outro contaminado, dispostos em compartimentos separados dentro de um mesmo recipiente. Os organismos são colocados na linha divisória e podem se deslocar livremente entre as seções durante um período de 48 horas. Ao final desse tempo, contabiliza-se a distribuição dos indivíduos para determinar se houve preferência pelo solo controle, o que indica comportamento de fuga diante de condições adversas.

As condições experimentais são controladas, com temperatura média de 22 °C e fotoperíodo de 16 horas de luz e 8 horas de escuridão, além do preparo do solo com cerca de 600 g de material úmido, ajustado entre 40% e 60% de sua capacidade de retenção de água, conforme recomendações padronizadas.

O ensaio de fuga distingue-se por sua rapidez, sensibilidade e baixo custo, sendo uma ferramenta complementar aos testes tradicionais de letalidade e reprodução. Por identificar respostas comportamentais precoces, ele permite detectar impactos de contaminantes mesmo em concentrações não letais, fornecendo uma visão mais ampla dos efeitos ambientais. Além disso, os organismos expostos podem apresentar alterações morfológicas, fisiológicas, citogenéticas e de fertilidade, que, em conjunto, oferecem subsídios para compreender os mecanismos de toxicidade associados a diferentes poluentes.

De acordo com Cesar *et al.* (2014), a toxicidade de metais pesados e outras substâncias químicas pode ser avaliada por meio de bioensaios com organismos terrestres, que atuam como bioindicadores da qualidade ambiental. Tais estudos possibilitam identificar a biodisponibilidade dos contaminantes e avaliar a capacidade dos organismos de resistir ou

sofrer danos em distintos níveis de exposição. Alterações morfológicas, comportamentais e reprodutivas, por exemplo, constituem indicadores de estresse tóxico e fornecem evidências do potencial impacto dos poluentes sobre o solo e a biota local.

Os organismos edáficos desenvolvem diferentes estratégias adaptativas diante da contaminação química. Entre elas, destacam-se a movimentação para áreas menos poluídas, a migração vertical para camadas mais profundas do solo e a modificação dos hábitos alimentares e de locomoção, a fim de reduzir a exposição direta a substâncias tóxicas (Cesar *et al.*, 2014). Essas respostas estão associadas à quimiotaxia e à sensibilidade química das minhocas, que lhes permitem detectar rapidamente a presença de compostos nocivos e se afastar das zonas contaminadas. Tais mecanismos evidenciam a complexidade das respostas adaptativas e a capacidade desses organismos de ajustar-se a curto prazo a condições ambientais desfavoráveis.

Os bioensaios de fuga têm se mostrado ferramentas eficazes para identificar contaminantes com alta biodisponibilidade e potencial tóxico direto sobre os organismos do solo. Embora os metais pesados sejam os poluentes mais estudados, compostos organoclorados, hidrocarbonetos e agrotóxicos também são frequentemente avaliados, dada sua ampla utilização em atividades industriais e agrícolas. Os resultados desses ensaios refletem a qualidade do solo e o risco ambiental associado, pois a capacidade de evasão das minhocas está diretamente relacionada à toxicidade e à presença de contaminantes.

Niemeyer *et al.* (2019) enfatizam que o ensaio de fuga não visa substituir os testes tradicionais de letalidade (ISO 11268-1) e reprodução (ISO 11268-2), mas sim oferecer uma avaliação complementar focada em efeitos subletais por meio da análise do comportamento das minhocas ao evitarem solos contaminados ou solos com adição de substâncias químicas.

Sisinno e Oliveira-Filho (2021) descreveram a aplicação e adaptação do ensaio de comportamento (Teste de fuga) com minhocas *E. fetida* para amostras naturais de solos contaminados por hidrocarbonetos no contexto brasileiro, onde na época, esse tipo de ensaio ainda era pouco utilizado. O estudo demonstra que o teste de fuga é um método rápido e sensível para indicar a toxicidade real dos solos contaminados, permitindo uma avaliação preliminar da biodisponibilidade das substâncias químicas para os organismos do solo.

Além disso, os autores ressaltam que o ensaio de comportamento pode ser uma ferramenta complementar importante aos ensaios tradicionais de letalidade e reprodução, facilitando a avaliação de risco ecológico de áreas contaminadas. Outra contribuição significativa é a discussão sobre as dificuldades e cuidados necessários na utilização de amostras

naturais, em contraste com os solos artificiais geralmente usados nos protocolos ISO, o que torna os resultados mais representativos da situação ambiental real.

Tendo como exemplo, Schutz *et al.* (2023) avaliaram cinco pontos de coleta de água no Rio Chopim, sendo quatro localizados dentro da unidade de conservação Refúgio de Vida Silvestre dos Campos de Palmas (RVS-CP), uma área de proteção ambiental nos municípios paranaenses de Palmas e General Carneiro. Os autores utilizaram o Teste de Fuga (avoidance test) com a minhoca *E. fetida* como bioindicador. Conforme descrito no trabalho dos autores, o teste de evasão foi realizado e mostrou que apenas o ponto 1, durante o inverno, apresentou efeito tóxico, com uma taxa de evasão de 80%. Esse ponto correspondeu à nascente do Rio Chopim, localizada dentro da área da RVS-CP, onde há atividades como silvicultura, campos nativos e pastagens que podem ter causado contaminação da água, refletindo no impacto sobre as minhocas.

Os ensaios combinados realizados pelos autores, teste de fuga e *A. cepa*, permitiu indicar que a água do Rio Chopim, especialmente em pontos próximos a fontes de poluição antrópica, apresenta efeitos citotóxicos, mutagênicos e de toxicidade para organismos do solo, ressaltando a necessidade de monitoramento e medidas de proteção ambiental.

De Azevedo e Coronas (2018) apontam para importantes contribuições na área de ecotoxicologia e avaliação ambiental no contexto brasileiro. As autoras, destacam a relevância do ensaio de fuga com minhocas como uma ferramenta sensível, prática e não letal para detectar os efeitos adversos de agrotóxicos nos organismos terrestres não-alvo, especialmente em espécies indicadoras como *E. andrei* e *E. fetida*. Essa metodologia permitiu avaliar os impactos subletais e comportamentais desses compostos químicos no solo, importante compartimento ambiental, refletindo efeitos que, muitas vezes, não são captados por testes tradicionais de toxicidade aguda.

Outra contribuição do trabalho das autoras é a realização de uma revisão sistemática dos estudos nacionais que aplicaram o teste de fuga, fornecendo um panorama dos ingredientes ativos mais utilizados no Brasil e suas respostas toxicológicas nas minhocas, bem como as condições experimentais em solos naturais e artificiais tropicais. O estudo também enfatizou a necessidade de ampliação das pesquisas nesse tema no Brasil, diante da grande diversidade e volume de agrotóxicos comercializados, e do impacto comprovado desses produtos sobre organismos-chave para o equilíbrio do solo e os serviços ecossistêmicos. Dessa forma, o trabalho contribui para a percepção sobre os riscos ecotoxicológicos dos agrotóxicos, sugerindo o teste de fuga como uma técnica promissora para monitoramento

ambiental, avaliação de riscos e tomada de decisões voltadas para a sustentabilidade e proteção do solo no país.

3.2.3 Germinação de sementes

Os bioensaios ecotoxicológicos constituem ferramentas indispensáveis para a avaliação da qualidade ambiental, ao permitirem detectar os efeitos biológicos decorrentes da exposição a substâncias potencialmente tóxicas. Diferentemente das análises químicas convencionais, que se restringem à quantificação de compostos presentes nas amostras, os bioensaios possibilitam observar respostas fisiológicas, morfológicas e comportamentais dos organismos, evidenciando o impacto efetivo dos poluentes sobre os sistemas vivos (Mitelut e Popa, 2011).

A aplicação de organismos bioindicadores, como microcrustáceos, algas e plantas, tem se mostrado fundamental na avaliação do potencial tóxico de efluentes, solos e corpos d'água, tornando os bioensaios instrumentos essenciais nos estudos de ecotoxicologia (CE-TESEB, 2016). No campo específico da fitotoxicologia, as plantas destacam-se como bioindicadoras altamente sensíveis, capazes de refletir alterações ambientais por meio de respostas fisiológicas, bioquímicas e genéticas (Lourenço *et al.*, 2021).

Entre as abordagens mais consolidadas, os testes de germinação de sementes têm se destacado pela simplicidade, baixo custo e elevada relevância ecológica. Segundo Duque *et al.* (2020), a avaliação da toxicidade por meio das sementes de *Lactuca sativa* (alface) e *Phaseolus vulgaris* (feijão) é amplamente empregada em estudos laboratoriais, permitindo estimar os efeitos fisiológicos de contaminantes sobre organismos vegetais. Esses testes baseiam-se na exposição controlada das sementes a diferentes concentrações de amostras ambientais, sendo avaliados parâmetros como taxa de germinação, comprimento radicular e vigor das plântulas (Mothe *et al.*, 2019).

A germinação e o desenvolvimento inicial das plântulas representam fases críticas do ciclo de vida vegetal e são altamente suscetíveis à presença de poluentes (Almeida *et al.*, 2021). Alterações nesses processos, como atraso na germinação, inibição do crescimento radicular ou deformações morfológicas, constituem indicadores sensíveis de toxicidade. A alface (*L. sativa*) é amplamente utilizada devido à sua uniformidade genética, alta taxa germinativa e resposta rápida a substâncias químicas, enquanto o feijão (*P. vulgaris*) apresenta estrutura radicular visível e facilmente mensurável, o que permite detectar efeitos fisiológicos e morfológicos associados à presença de contaminantes (Duque *et al.*, 2020).

Os mecanismos subjacentes à fitotoxicidade incluem danos às membranas celulares, interferência no transporte de íons e nutrientes, inibição enzimática e alterações em processos metabólicos como respiração e síntese proteica (Peduto, Jesus e Kohatsu, 2019). Em casos de maior severidade, compostos genotóxicos podem causar aberrações cromossômicas em células meristemáticas das raízes, comprometendo o desenvolvimento subsequente das plantas. Assim, além de detectar toxicidade aguda, os bioensaios com sementes também fornecem subsídios para inferências sobre efeitos genotóxicos e mutagênicos.

A confiabilidade desses testes é demonstrada em diversas pesquisas. Os autores, Peduto, Jesus e Kohatsu (2019), por exemplo, avaliaram seis espécies de sementes: *Allium cepa*, *Cucumis sativus*, *Lepidium sativum*, *Lactuca sativa*, *Sinapis alba* e *Eruca sativa*. Eles observaram respostas diferenciadas entre as espécies, relacionadas tanto à morfologia das sementes quanto à necessidade de tratamentos prévios, como o pré-resfriamento. Tais resultados confirmam que a sensibilidade das espécies varia conforme o tamanho da semente e a permeabilidade do tegumento, fatores que influenciam o contato e a absorção dos contaminantes.

De Oliveira *et al.* (2024) utilizaram *L. sativa* para avaliar a toxicidade de efluentes líquidos e observaram que, mesmo após tratamento, as amostras apresentaram toxicidade residual, evidenciada pela redução na taxa de germinação e no crescimento radicular. Esses resultados confirmam que a espécie é um bioindicador eficaz para estudos de toxicidade ambiental, especialmente por sua resposta rápida e consistência nos parâmetros avaliados.

Resultados semelhantes foram relatados por De Sousa *et al.* (2022), que investigaram o efeito do alumínio presente em lodos de estação de tratamento de água sobre a germinação de sementes de alface, tomate, repolho, cebolinha, pepino e milho. As espécies apresentaram sensibilidades distintas, com valores de CL_{50} variando entre 2,95% e 77,82%, demonstrando a importância da seleção da espécie-teste conforme o tipo de contaminante e a concentração avaliada. O estudo também evidenciou uma relação dose-resposta típica, reforçando a confiabilidade do método na caracterização da toxicidade.

Além da relevância científica, os testes de germinação possuem valor pedagógico. Rodrigues *et al.* (2022) aplicaram essa metodologia no ensino básico para demonstrar conceitos de ecotoxicologia, sensibilidade biológica e dose-resposta. O uso de substâncias domésticas como água sanitária, detergente e sal mostrou-se eficaz para evidenciar experimentalmente o impacto de contaminantes em sementes de alface, rúcula, feijão e cebola, revelando a versatilidade e o potencial didático do método.

Sob a perspectiva ética e ambiental, os bioensaios com sementes também representam alternativas sustentáveis, dispensando o uso de organismos animais e apresentando boa correlação com resultados obtidos em outros sistemas biológicos. Estudos, como o de Alias *et al.* (2023), reforçam a eficácia de espécies de *A. cepa* e *L. sativa* na detecção precoce de toxicidade e genotoxicidade, consolidando os ensaios vegetais como ferramentas essenciais para o monitoramento ambiental.

Dessa forma, os testes de germinação de sementes se configuram como um método robusto, sensível e acessível, combinando simplicidade experimental, validade ecológica e relevância científica. Sua aplicação contínua em estudos ecotoxicológicos contribui não apenas para o avanço do conhecimento sobre os efeitos de contaminantes no ambiente, mas também para o desenvolvimento de práticas de avaliação ambiental mais éticas, econômicas e sustentáveis.

3.3 A Alfabetização Científica (AC)

O termo Alfabetização Científica (AC) adotado neste trabalho está embasado nas reflexões de muitos autores, entre eles Laugksch (2000), que a compreende como um conceito dinâmico e multifacetado, cuja definição se transforma de acordo com os contextos e finalidades educativas em que é mobilizada. Para o autor, longe de se restringir à mera aquisição de conhecimentos científicos, ela envolve um conjunto integrado de saberes, habilidades, atitudes e valores que permitem ao sujeito interpretar o mundo à luz da ciência, avaliando criticamente as informações que circulam na sociedade e tomando decisões fundamentadas.

Sasseron e Carvalho (2011) e Valladares (2021), abordam os eixos estruturantes da AC e suas visões, especialmente no que se refere ao ensino como prática social e às formas de compreender a ciência em contextos cotidianos. Essa abordagem reconhece que ser alfabetizado cientificamente implica não somente compreender conceitos e fenômenos, mas também desenvolver a capacidade de pensar de forma crítica, argumentar com base em evidências e participar de maneira informada em debates públicos sobre questões científicas e tecnológicas.

A AC estimula o engajamento ativo do indivíduo frente aos desafios coletivos, aproximando o conhecimento científico dos contextos culturais e políticos em que é produzido e aplicado. De acordo com Freire (2014), a alfabetização constitui um processo contínuo de formação crítica e de engajamento social. Assim, Silva e Sasseron (2021), defendem que a

AC dialoga intrinsecamente com o conceito de alfabetização de Paulo Freire, pela dimensão de um processo contínuo, de formação, que envolve o contato com a cultura científica e a incorporação de suas práticas sociais no cotidiano dos indivíduos cuja abordagem de auto-formação e cultura participativa reforça a ideia de uma alfabetização que envolva a atuação e o engajamento social dos sujeitos.

Kauano e Marandino (2022) discutem como as ideias de Paulo Freire se conectam com a educação em ciências, especialmente focando na AC e no movimento CTSA. As autoras destacam a importância do diálogo e da educação libertadora para fortalecer a AC e apontam que, embora as bases de Freire estejam presentes no movimento CTSA, ainda há um certo distanciamento teórico e prático entre esses campos.

As autoras, Marques e Marandino (2019), defendem uma abordagem que conecta a AC para além de uma dimensão cognitiva, mas que deve integrar dimensões sociais e críticas, conectando-se às alfabetizações múltiplas e à educação emancipatória. Sendo assim, a AC amplia seu alcance para além da sala de aula, propondo uma compreensão contextualizada do papel da ciência na sociedade.

De acordo com Guerrero e Sjöström (2025), essa articulação permite reconhecer os condicionantes históricos e culturais do saber científico, questionar as relações de poder que o atravessam e refletir sobre seu potencial transformador. Nesse sentido, alfabetizar-se cientificamente é um processo de formação política e ética, que visa fortalecer sujeitos capazes de compreender e intervir nas problemáticas contemporâneas. Vai além da simples aquisição de conceitos, ao envolver o desenvolvimento do pensamento crítico, a interpretação de informações, a formulação de perguntas, a análise de dados e a compreensão da produção científica, seus métodos, limites e impactos sociais.

Lorenzetti e Delizoicov (2001) defendem que a alfabetização científica pode e deve ser iniciada desde os primeiros anos de escolarização, ainda antes da aprendizagem formal da leitura e da escrita. Essa perspectiva reconhece a relevância de estimular o desenvolvimento das habilidades linguísticas das crianças por meio da atribuição de significados às suas vivências e às interações com o mundo ao seu redor, favorecendo um processo inicial de alfabetização científica.

Para estes autores, essa abordagem, valoriza-se práticas pedagógicas que ampliem o repertório cultural, cognitivo e simbólico dos estudantes, permitindo a construção de sentidos e significados mesmo antes do domínio dos códigos escritos, etapa essencial para uma aprendizagem significativa e para o fortalecimento do letramento científico ao longo da formação escolar.

Para Sasseron (2015), a escola deve ser um espaço de oferta e circulação de cultura, incluindo a cultura científica, fundamentalmente alinhada com uma visão democrática e pluralista da educação. Ao reconhecer que o ambiente escolar congrega pessoas de diversas origens, experiências e culturas, a autora reforça a importância de uma abordagem pedagógica que valorize essas diferenças, promovendo a integração de conhecimentos e práticas que sejam pertinentes às realidades dos estudantes.

Essa perspectiva contribui para a escola deixar de ser um espaço meramente transmissor de conhecimentos padronizados e tornar-se um ambiente de troca e construção cultural, onde diferentes formas de saber podem coexistir e dialogar. Nesse sentido, para Sasseron (2015), o desenvolvimento de uma cultura científica escolar não implica somente na transmissão de conceitos e procedimentos científicos, mas na construção de um entendimento crítico e reflexivo sobre o papel da ciência na sociedade, valorizando seus aspectos socioculturais, históricos e éticos, favorecendo a contextualização do conhecimento científico, tornando-o mais acessível e relevante para os estudantes.

Silva e Sasseron (2021) reafirmam que essa integração promove o reconhecimento da ciência como uma produção humana, influenciada por fatores culturais e sociais, o que, por sua vez, pode contribuir para uma alfabetização científica mais cidadã e engajada.

No contexto de sala de aula, Sasseron (2015) descreve a implementação de propostas pedagógicas para AC como práticas em sala de aula que envolvem estratégias didáticas variadas, centradas no ensino por investigação e na argumentação. Essas práticas buscam colocar os alunos em posições ativas, permitindo que eles participem da construção do conhecimento científico por meio da resolução conjunta de situações-problema, favorecendo o desenvolvimento da liberdade e autonomia intelectuais.

Para a autora, a implementação inclui a proposição de atividades que provoquem o debate de ideias, o trabalho coletivo, o desenvolvimento de atitudes críticas, analíticas e propositivas frente a temas científicos relevantes para a sociedade. Além disso, as propostas consideram os aspectos vinculados à compreensão das relações entre ciência, tecnologia, sociedade e ambiente, oferecendo uma visão mais contextualizada e completa da ciência.

Os indicadores de AC propostos por Sasseron e Carvalho (2008) descrevem quais práticas de pensamento científico devem aparecer em atividades investigativas, dividindo-se em três grandes eixos (Quadro 1).

Quadro 1: Eixos e indicadores de AC para o Ensino Fundamental

Eixos	Compreensão de conceitos científicos fundamentais	Natureza da ciência e suas dimensões éticas e políticas	Relações entre ciência, tecnologia, sociedade e meio ambiente (CTSA)
Indicadores	Organização, classificação e seriação das informações.	Raciocínio lógico, raciocínio proporcional Níveis de argumentação.	Levantamento e teste de hipóteses, justificativa, previsão e explicação.

Fonte: Adaptado de Sasseron e Carvalho (2008).

Sasseron (2015) detalha indicadores relacionados às habilidades esperadas dos estudantes durante o processo de AC, incluindo:

- (a) o trabalho com informações e dados disponíveis, organizando, seriando e classificando-os;
- (b) o levantamento e teste de hipóteses construídas pelos estudantes;
- (c) o estabelecimento de explicações sobre fenômenos, com busca por justificativas e previsões;
- (d) o uso de raciocínio lógico e proporcional no processo investigativo e na comunicação em situações de ensino e aprendizagem.

Para a autora, essas habilidades não são vistas como um método a ser rigidamente seguido em sequência cronológica, mas como indicativos de envolvimento no processo de construção do conhecimento científico, por meio do trabalho com informações, formulação e teste de hipóteses, explicações fundamentadas e uso de raciocínio lógico e proporcional. Assim, elas ajudam a promover uma aprendizagem que vai além da simples memorização de conceitos, incentivando atitudes críticas, reflexivas e argumentativas, características fundamentais da AC, que favorecem a autonomia intelectual e o desenvolvimento de um pensamento científico nos alunos.

Kauano e Marandino (2022) apontam reflexões para a necessidade de uma articulação mais profunda e "radical" entre Freire, CTSA e AC, que vá além de uma compreensão superficial da ciência e tecnologia, questionando as estruturas de poder, promovendo a transformação social e ambiental e evitando que as abordagens se tornem meros instrumentos de manutenção do *status quo* ou de uma participação limitada e despolitizada.

No contexto escolar, Libâneo (2004) destaca que a aprendizagem deve promover a formação de conceitos teóricos por meio da interação sujeito-objeto e do uso de mediações simbólicas (como sistemas, esquemas, mapas, modelos), o que é essencial para a compreensão dos fenômenos científicos. Assim, a Teoria Histórico-Social da Atividade fornece fundamentos teóricos e metodológicos que apoiam o desenvolvimento da AC, na medida em

que promove o pensamento teórico, a internalização de conceitos científicos e a formação de sujeitos críticos e capazes de atuar no mundo científico e social.

Libâneo (2004) ressalta a importância de que a aprendizagem escolar esteja estruturada numa atividade que inclua tarefas, ações e avaliação visando à compreensão dos objetos de estudo em suas relações, permitindo que os alunos aprendam a pensar teoricamente, refletindo a conjugação entre atividades práticas e o pensamento abstrato e crítico.

Nesse contexto, o uso de recursos visuais, atividades práticas e diferentes métodos de observação e registros enfatiza a contextualização do processo de ensino-aprendizagem de forma dialética e dialógica, possibilitando às crianças múltiplas formas de expressão de suas percepções e promovendo uma aprendizagem mais significativa, participativa e ancorada na experiência.

Na educação infantil, Marques e Marandino (2019), defendem que a AC deve começar desde os primeiros contatos da criança com a cultura científica, reconhecendo que esse processo ocorre naturalmente na convivência cotidiana e nas práticas sociais. Elas enfatizam ser fundamental incluir a criança pequena como sujeito ativo no processo de AC, considerando sua condição de agente de cultura e participante de suas experiências.

Além disso, ressaltam a importância de configurar espaços de educação não formal, como ações educativas em ambientes variados e práticas sociais cotidianas, que dialoguem com as culturas da infância e promovam uma aproximação lúdica, imagética e interativa com a ciência.

As autoras também destacam que a inclusão da criança pequena no processo de AC implica na elaboração de ações específicas, que considerem suas características, interesses e modos de expressão, promovendo a integração entre a cultura infantil e a cultura científica, e avançando na formação de uma compreensão contextualizada da ciência desde a infância.

Nesse sentido, para as autoras, a brincadeira torna-se um meio privilegiado para as crianças explorarem, experimentarem, questionarem e atribuírem sentido às suas descobertas, aproximando-se gradualmente dos modos de pensar e agir da ciência. A ênfase na interação social, na ludicidade e na curiosidade evidencia que a aprendizagem científica na infância deve ser vivida de forma dialógica e afetiva, respeitando o ritmo, o tempo e as singularidades de cada criança.

Ao interagir com seus pares, de acordo com Marques e Marandino (2019), a criança constrói significados de maneira colaborativa, compartilhando hipóteses, comparando ideias e elaborando explicações que emergem do próprio brincar. Assim, o jogo simbólico e a fantasia não são opostos à racionalidade científica, mas, ao contrário, constituem os alicerces

de uma imaginação criadora que sustenta o pensamento investigativo e a capacidade de formular perguntas sobre o mundo.

Desse modo, o brincar assume um papel mediador entre o conhecimento científico e a experiência infantil, permitindo que a AC ocorra de forma significativa, sensível e contextualizada. Através dele, a criança não somente se aproxima da ciência, mas também se reconhece como sujeito ativo na construção do saber, curiosa, imaginativa e capaz de transformar o mundo a partir de suas próprias descobertas.

3.4 Transposição didática

No contexto educativo, os conhecimentos da ecotoxicologia assumem papel importante, ao permitirem ao estudante compreender fenômenos ambientais reais e desenvolver a capacidade de análise crítica. Entretanto, para que conhecimentos científicos complexos, como os da Ecotoxicologia, sejam efetivamente ensinados na escola, torna-se necessário transformá-los em conteúdos acessíveis, adequados às especificidades do contexto educacional.

Nesse sentido, articula-se a transposição didática como um conjunto de ações e fases que conectam o conhecimento científico à prática educativa, mediadas por diversos agentes e contextos, visando a construção de um ensino mais efetivo e adaptado à realidade escolar (Ranthum, Silva e Frasson, 2023). Esse processo é fundamental para a promoção da alfabetização científica, na medida em que possibilita ao estudante não apenas apropriar-se de conceitos, mas desenvolver competências de leitura, interpretação, argumentação e tomada de decisão frente a questões socioambientais.

Para Ranthum, Silva e Frasson (2023), a transposição didática implica que o conhecimento não é transmitido tal qual ele foi produzido, mas passa por uma adaptação complexa que envolve a reorganização, simplificação, planejamento e mediação, para adequar o saber às necessidades educativas e às capacidades dos estudantes.

O conceito de transposição didática se relaciona diretamente com a aprendizagem significativa ao considerar que o conhecimento acadêmico (saber sábio) deve ser transformado e adaptado (saber a ensinar) para poder ser ensinado de forma acessível e contextualizada ao estudante (saber ensinado). Esse processo de transformação visa facilitar a ancoragem dos novos conhecimentos nos saberes prévios dos estudantes, essencial para a aprendizagem significativa conforme Ausubel (2003).

Além disso, alinhando-se às perspectivas de Vygotsky (1934) e Saviani (2003), a transposição didática reconhece que essa transformação não é somente uma adaptação cognitiva abstrata, mas envolve dimensões sociais e históricas. Ou seja, o saber a ensinar e o saber ensinado são produzidos em contextos sociais e culturais, mediando a relação entre o conhecimento científico e o estudante, de modo que os significados vão sendo construídos na interação social e na apropriação crítica dos saberes sistematizados.

4. PERCURSO METODOLÓGICO

As atividades foram realizadas na Escola Municipal Miriam Soares Cunha, em Paranaguá/PR, ao longo de dois meses, com um grupo focal de crianças de 4 a 5 anos do período matutino. Todas as atividades foram realizadas pela professora da turma, e responsável pela pesquisa, com a anuência da Secretaria Municipal de Educação de Paranaguá (SEMEDI), a aprovação do Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Estadual do Paraná (CEP/UNESPAR) (Número do Parecer: 7.063.085 7), a autorização formal dos pais ou responsáveis (ANEXO I e ANEXO II).

Quando a pesquisadora é também a professora da turma, a pesquisa em sala de aula assume um caráter qualitativo e participativo. De acordo com Severino (2007), a pesquisa desenvolvida em sala de aula configura-se como uma investigação de natureza qualitativa, fundamentada epistemologicamente no paradigma fenomenológico. Esse tipo de abordagem se distingue por buscar compreender, em profundidade, os significados, as experiências e os contextos vividos pelos sujeitos envolvidos, professor, alunos e práticas educativas, em vez de se apoiar em medições ou generalizações típicas dos métodos quantitativos. Assim, a pesquisa qualitativa privilegia a interpretação das práticas pedagógicas e das interações humanas em seu contexto histórico e social, reconhecendo o caráter subjetivo, dinâmico e relacional que constitui o processo educativo.

Nesse sentido, a sala de aula torna-se o espaço de construção do conhecimento e o próprio campo de investigação, no qual o professor-pesquisador vivencia e reflete sobre a prática educativa como um processo complexo e histórico. Essa vivência requer metodologias capazes de captar a riqueza e a multiplicidade das experiências, bem como de promover um diálogo constante entre o objeto de estudo, os parceiros de pesquisa e a cultura que os envolve.

Para Severino (2007), epistemologicamente, o paradigma fenomenológico sustenta essa abordagem por compreender o conhecimento como resultado da experiência vivida e da interpretação dos significados que os sujeitos atribuem ao mundo em que estão inseridos. A fenomenologia valoriza a compreensão profunda das experiências humanas tal como são percebidas pelos próprios indivíduos, colocando o sujeito conhecedor no centro do processo de produção de saber.

No campo educacional, isso implica compreender a prática docente como uma experiência intencional, relacional e histórica, em que professores e alunos são sujeitos ativos na

construção de sentido e realidade. O objetivo não é identificar leis universais nem estabelecer relações de causa e efeito, mas revelar a complexidade e a intencionalidade das ações educativas, reconhecendo sua historicidade e sua dimensão social. Nesse paradigma, a relação entre sujeito e objeto do conhecimento é dialógica, pois a prática educativa é interpretada a partir de sua significação para os envolvidos.

Antes das atividades de pesquisa se iniciarem na sala de aula junto à turma, foram realizadas pesquisas para fundamentação teórica sobre os três bioensaios utilizados na ecotoxicologia: a) Teste *Allium cepa*; b) Teste de fuga e c) Germinação de sementes. Depois desta etapa, foram elaboradas as transposições didáticas. A primeira delas consistiu no experimento, realizado no contexto da história da “Cebolete, a detetive ambiental”, que serviu para simular o bioensaio Teste *Allium cepa*, e a formulação de hipóteses sobre os impactos da qualidade da água no qual as cebolas foram expostas.

Na transposição didática, denominada “A fuga das minhocas”, buscou-se relacionar o comportamento desses organismos quanto à qualidade do solo. Por fim, para observar os efeitos da poluição aquática e compreender, concretamente, a relação dose-resposta, associando o aumento da concentração do poluente à inibição do crescimento das plantas, foi realizada a transposição didática que envolveu a germinação com sementes de feijão. As crianças acompanharam o processo de germinação em diferentes concentrações de substâncias domésticas, como detergente, água sanitária, óleo de cozinha usado e água (controle) em diferentes concentrações (0%, 25%, 50% e 100%).

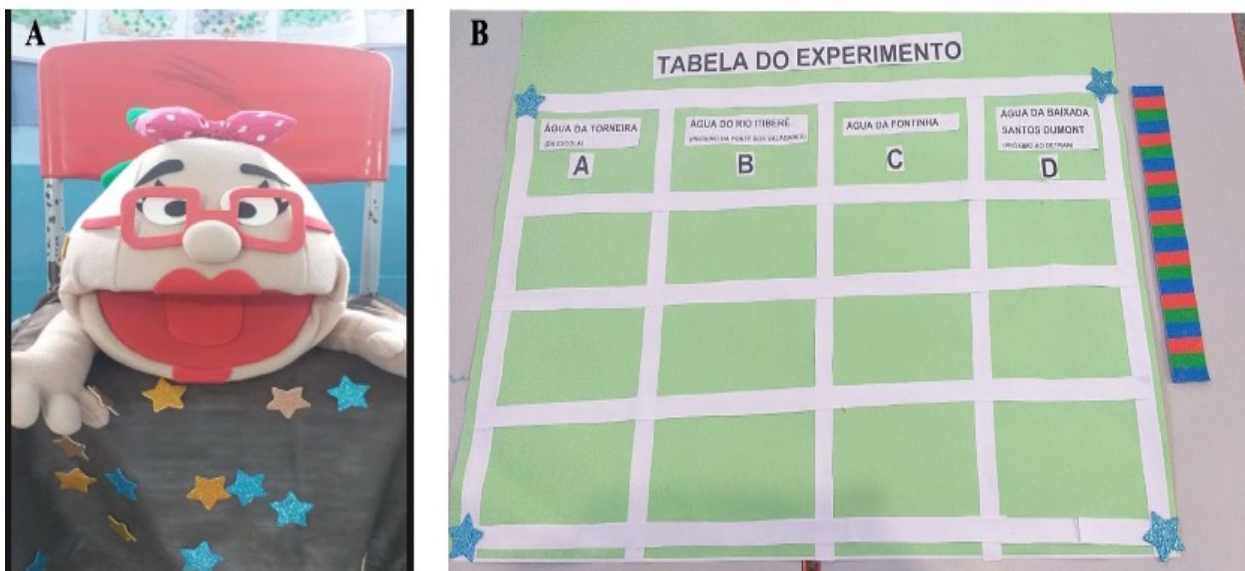
Vale destacar que as transposições didáticas elaboradas previamente serviram apenas como um guia, sofrendo adaptações conforme descrição abaixo e necessidades no decorrer do processo.

4. 1 Transposição didática: “Cebolete, a detetive ambiental”

A transposição foi planejada para o desenvolvimento ao longo de duas semanas. Para as atividades, foi utilizado um fantoche chamado Cebolete (Figura 1A) e foi confeccionada uma tabela e uma régua lúdica, para fazer as anotações com as crianças (Figura 1B). A professora realizou, com antecedência de dois dias, a coleta das amostras de água que seriam utilizadas em sala de aula. Foram coletadas amostras de quatro diferentes locais: a) Água da torneira - Retirada da própria escola Miriam Soares Cunha; b) Rio Itiberê, embaixo da Ponte que faz a travessia para a Ilha dos Valadares; c) Fontinha (também conhecida

como Fonte Velha ou Fonte de Cima) e d) Baixada Santos Dumont (Localizada no Bairro São Vicente).

Figura 1: Fantoche e Tabela confeccionados para atividades em sala



Fonte: Arquivo pessoal da autora.

Para o experimento, foram utilizadas 12 cebolas pequenas, todas com aproximadamente o mesmo tamanho, previamente limpas, 12 potes pequenos, palitos de dente, bandeja, plástico PVC, etiquetas e caneta. Todos os potes foram identificados previamente para facilitar a atividade em sala, onde A, seguido pelo número de 1 a 4, representou o local de coleta da água e R a repetição do tratamento, sendo utilizadas 3 repetições.

Na primeira semana, a aula foi iniciada com a contação da história “Cebolete, a detetive ambiental”, utilizando o fantoche para que os alunos se envolvessem ludicamente com a história (Quadro 2).

Quadro 2: História da Cebolete, a detetive ambiental

“Em uma horta muito distante, havia uma linda plantação de cebolas, em cada espaço havia cebolas lindas. Lá elas cresciam em um solo muito promissor, onde também contavam com a ajuda dos raios solares e água fresca da chuva. Viviam muito felizes e saudáveis.

Conforme o tempo foi passando, perceberam estar ocorrendo movimentações estranhas, barulhos que nunca haviam ouvido antes e cheiros diferentes do que estavam acostumadas.

Então começaram a notar que algumas cebolas começaram a adoecer e outras até morrerem. Observando que isso acontecia com as cebolas que estavam próximas de onde vinha o barulho, onde tinha um cheiro diferente e onde havia movimentações estranhas, ficaram preocupadas e resolveram chamar a CEBOLETE. A Cebolete era uma detetive e provavelmente a única que iria conseguir solucionar este mistério.

Então ela foi chamada nesta horta e as cebolas começaram a relatar o que estava acontecendo. A Detetive Cebolete, então foi onde havia movimentações estranhas e observou que lá foi construída uma praça, onde muitas pessoas circulavam com suas famílias para brincar, fazer esportes, etc, porém, percebeu também que o lugar era muito diferente de como era antes.

A Cebolete ficou muito triste ao ver que estas pessoas não estavam cuidando do local, jogando no solo: restos de comida, plásticos, bitucas de cigarros etc. Em seguida foi até o local com barulhos que nunca tinham ouvido, e observou uma casa, com vários carros. Nela havia pessoas lavando carros, e logo percebeu que ali era um lava car. Ela ficou ali analisando a situação e percebeu que os produtos (detergente, desinfetantes etc.), eram todos descartados diretamente no solo.

E por último, foi onde tinha cheiros diferentes. Viu então uma enorme fábrica, que saía uma fumaça muito escura e com cheiro muito ruim, que lhe ardia os olhos e até mesmo a sua garganta. Chegando mais próximo do local, viu que tinha tubulações de esgoto que estavam ligadas ao rio, despejando nele, diversos tipos líquidos e óleos.

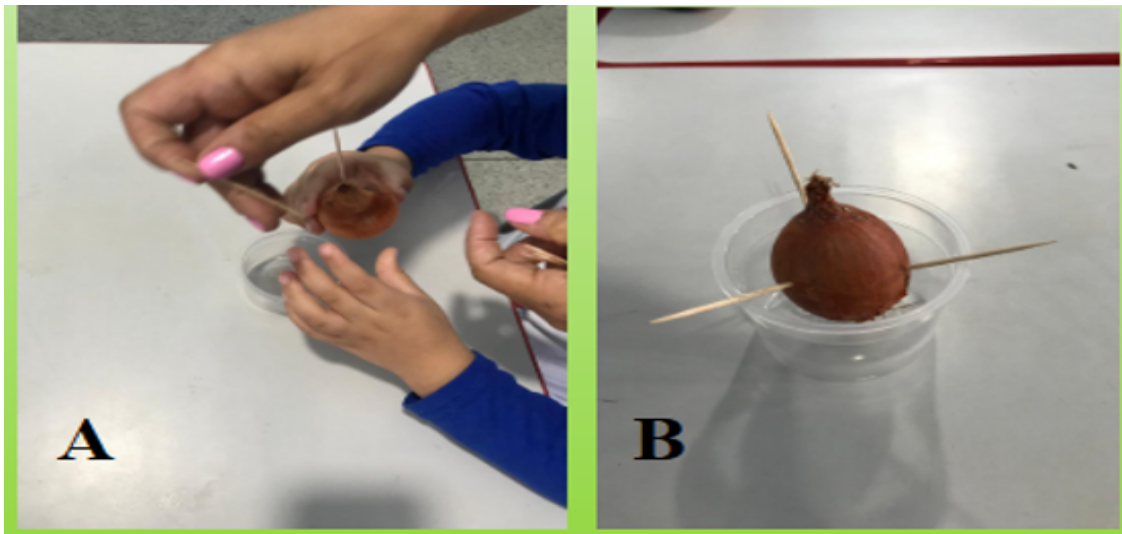
Após todas estas descobertas, levou as informações para as demais cebolas e iniciaram uma longa conversa e depois de alguns dias analisando os fatos, A Detetive constatou que...”

Neste ponto, a narrativa foi interrompida propositalmente para promover uma roda de conversa com as crianças, que foram então questionadas pela professora: — O que vocês acham que pode estar acontecendo com as cebolas? O que pode ter deixado as cebolas doentes? Será que foi a água, o sol ou a terra que mudaram de alguma forma? Vocês já viram alguma planta ficar doente ou murchar? O que as plantas precisam para crescer fortes? O que acontece se uma planta não recebe sol, água ou terra boa? Como a detetive Cebolete pode descobrir o que está acontecendo? O que vocês fariam para auxiliar as cebolas?

Em seguida, a professora propôs a montagem do experimento para auxiliar a Cebolete desvendar o mistério. Neste momento da aula, as cebolas foram distribuídas para que todos colaborassem. Cada criança recebeu uma cebola e um potinho de plástico, com o auxílio da professora, espetaram três palitos de dente, de forma que ela ficasse suspensa no pote, sem tocar no fundo, observados na Figura 2.

Após as doze cebolas terem sido espetadas e colocadas sobre os potes de plásticos, estes potes foram preenchidos com as diferentes amostras de água conforme as etiquetas. Para evitar o contato com insetos, os recipientes foram organizados sobre uma bandeja e cobertos com plástico PVC. A bandeja foi então colocada sobre um armário e permaneceu por uma semana.

Figura 2: Montagem do experimento.



Fonte: Arquivo pessoal da autora

Após uma semana, as crianças foram convidadas a observar o que aconteceu no experimento. Ao remover o plástico PVC, fizeram-se perguntas direcionadas, como: - Qual cebola tem a raiz maior? - Qual tem a raiz menor? - Vocês acham que isso pode indicar sobre a qualidade da água em que estavam?

Em seguida, cada criança foi chamada individualmente e, com a ajuda da régua lúdica, mediram o comprimento das raízes para a professora anotar na tabela os resultados e realizar as discussões. Paralelamente, a cada etapa do experimento, as crianças fizeram anotações por meio de desenhos para registro do que estava acontecendo.

4.2 Transposição didática: Contação da história “As Descobertas de Luiz”

A atividade foi conduzida e adaptada a partir do livro *As descobertas de Luiz* de Krawczyk *et al.* (2022). Na história, o Luiz era um menino que utilizava minhocas de sua horta para pescar, mas que certo dia ele percebeu que todas haviam desaparecido.

Como preparo antecipado, foi solicitado que as crianças coletassem as minhocas com os pais ou responsáveis e levassem para a escola. Além disso, a professora providenciou terra e um vidro grande para a confecção do minhocário.

A professora utilizou cópias coloridas de partes da história impressas em A4, observadas logo abaixo, na figura 3, e durante a contação, fez pausas para rodas de conversa, incentivando as crianças a levantar hipóteses sobre o sumiço das minhocas e refletir sobre fatores ambientais e poluição.

Figura 3: Contação da história “As Descobertas de Luiz”



Fonte: Arquivo pessoal da autora.

A professora foi propondo perguntas como: - O que será que aconteceu com as minhocas da horta do Luiz? - Para onde vocês acham que elas foram? - Será que alguém pegou as minhocas antes dele? - Quem poderia ter feito isso? - Será que a chuva, o sol ou o tipo de terra podem ter feito as minhocas irem embora? - E se alguém jogar lixo ou produto na horta, o que pode acontecer com as minhocas? - O que Luiz poderia fazer para descobrir onde foram parar as minhocas?

Continuando a história, Luiz solicitou ajuda ao professor de Ciências, que sugeriu o experimento “A fuga das minhocas”. Neste momento, as crianças foram incentivadas a montar o minhocário para observarem o comportamento das minhocas. Para participação ativa das crianças, a professora solicitou que trouxessem minhocas para a montagem do minhocário, podendo visualizar nas imagens da figura 4. Então, em um vidro, foi colocada terra. As crianças colocaram as minhocas e, durante uma semana, observaram o comportamento das minhocas no minhocário.

Figura 4: Etapas das atividades em sala.



Fonte: Arquivo pessoal da autora.

É importante ressaltar que, por se tratar de uma atividade realizada com crianças, não foi utilizado o uso de nenhum produto químico ou agrotóxico, conforme é mostrado na história. Adicionalmente, foi solicitado para que as crianças fizessem o registro das hipóteses na folha após a construção do minhocário.

Ao final de uma semana de observações, foi retomada a narrativa da história, em que Luiz constatou que, no minhocário com contaminantes, as minhocas desapareceram, enquanto no de terra limpa permaneceram vivas. Para concluir, as crianças registraram suas ideias em desenhos e áudios sobre o experimento.

4.3 Transposição didática: Germinação de sementes de feijão

Antes da atividade, a professora preparou soluções em frascos de vidro, contendo água (controle) e misturas com 25%, 50% e 100% de diferentes substâncias: água, detergente, água sanitária e óleo de cozinha. Todos os frascos foram identificados previamente para facilitar a atividade em sala. Foi confeccionado um cartaz com desenhos de garrafas (ilustrando o detergente, água sanitária e óleo) e ao lado destas garrafas, foram colocadas as proporções (0%, 25%, 50% e 100%) para que as crianças pudessem ter noção das proporções. Também foram providenciadas sementes de feijão e 12 potes pequenos de plásticos (com tampas) com papel filtro recortado circularmente no fundo.

Em sala de aula, a professora iniciou com uma roda de conversa sobre poluição e seus impactos no meio ambiente, incentivando as crianças a refletirem se produtos do dia a dia, como detergente, água sanitária e óleo, poderiam prejudicar plantas e animais. Foram feitas algumas perguntas tais como: - Será que a poluição pode atrapalhar o crescimento das plantas e dos animais? - Produtos que usamos em casa, como detergente, água sanitária e óleo de cozinha, podem fazer mal para o meio ambiente?

Para registrar suas ideias, as crianças fizeram desenhos representando o que entenderam a partir da discussão. Após o término do registro das hipóteses, foi proposto para as crianças a realização de um experimento. Para que todos participassem da atividade, cada criança recebeu um pote e 10 sementes de feijão. As crianças colocaram as 10 sementes dentro dos potes de forma que ficassem espalhadas. Com auxílio da professora, as crianças utilizaram pipetas para colocar em cada pote cada uma das diferentes soluções preparadas, devidamente identificadas, conforme Figura 5. Os potes foram então armazenados em local fechado.

Figura 5: Etapas do experimento de germinação de sementes



Fonte: Arquivo pessoal da autora

Após uma semana, as crianças retomaram o experimento para verificar o desenvolvimento das sementes. Com a mediação da professora, as crianças puderam organizar suas observações, comparar os potes e registrar suas conclusões relacionando a prática experimental com os impactos da poluição no ambiente.

4.4 Interpretação dos resultados:

As três transposições didáticas foram planejadas a partir dos eixos da AC propostos por Sasseron e Carvalho (2008) e das habilidades investigativas esperadas dos estudantes durante o processo de AC (Sasseron, 2015), associadas ao trabalho com informações e dados, ao levantamento e teste de hipóteses, à construção de explicações com justificativas e previsões, bem como ao uso de raciocínio lógico e proporcional. Desse modo, tais eixos e habilidades não foram tratados como categorias isoladas ou quantificáveis, mas como princípios orientadores da análise qualitativa dos registros infantis.

Considerando a especificidade da Educação Infantil, os desenhos, falas e interações das crianças foram interpretados como evidências de processos iniciais de AC, expressos por meio da observação, comparação, formulação de hipóteses, explicação de fenômenos e proposição de soluções para problemas ambientais. Dessa forma, a análise buscou identificar de que maneira as crianças expressaram observações, comparações, hipóteses, justificativas, explicações, previsões e formas iniciais de raciocínio lógico e proporcional durante

as atividades. Assim, o quadro a seguir apresenta uma síntese das possibilidades interpretativas de cada transposição didática.

Quadro 3 – Síntese interpretativa das transposições didáticas a partir dos registros infantis

Cebotele, a detetive ambiental / Teste <i>Allium cepa</i>		
Foco da atividade	Indicadores de AC mobilizados	Evidências qualitativas nos registros infantis
Investigação da qualidade da água e seus efeitos no crescimento das raízes da cebola	Observação; comparação; organização das informações; levantamento de hipóteses; justificativa; explicação	Os desenhos e falas podem evidenciar a percepção das crianças sobre diferenças no crescimento das raízes, alterações na cor ou no tamanho, bem como tentativas de relacionar essas mudanças à qualidade da água. Por exemplo: Nos desenhos, a presença de copos, cebolas, raízes, água e sequência de dias pode indicar organização das informações do experimento. As crianças representam cebolas em recipientes diferentes, indicam raízes maiores, menores, ausentes ou com alterações de cor, ou diferenciam visualmente as condições de crescimento? Associam a água “limpa”, “suja” ou “diferente” ao crescimento ou não crescimento das raízes? Nas falas, expressões que relacionam a água ao desenvolvimento da cebola revelam justificativas e explicações iniciais sobre a interferência da qualidade da água nos organismos vivos?
As Descobertas de Luiz / Teste de fuga com minhocas		
Foco da atividade	Indicadores de AC mobilizados	Evidências qualitativas nos registros infantis
Investigação do comportamento das minhocas diante das condições do solo	Levantamento de hipóteses; observação; justificativa; explicação; argumentação inicial; proposição de soluções.	As crianças desenhavam minhocas longe da horta, escondidas, ausentes ou deslocando-se para outro local, sugerindo compreensão inicial de que o organismo reage às condições do ambiente? São observados nos desenhos, a representação do solo “ruim”, horta sem vida, lixo, sujeira, produtos ou elementos que indiquem alteração ambiental? Nas falas, ocorrem explicações como “a minhoca foi embora”, “não gostou da terra”, “a terra estava ruim” ou “tinha alguma coisa que fez mal”? Aparecem nos relatos ou desenhos a proposição de soluções, como limpar a horta, cuidar da terra, retirar sujeira ou não jogar resíduos no ambiente?
Germinação de sementes de feijão		
Foco da atividade	Indicadores de AC mobilizados	Evidências qualitativas nos registros infantis
Investigação dos efeitos de substâncias do cotidiano no crescimento das plantas	Previsão; comparação; organização e classificação das informações; levantamento e teste de hipóteses; explicação; raciocínio lógico e proporcional.	As crianças diferenciam plantas maiores, menores, frágeis ou ausentes nos tratamentos com água, detergente, água sanitária e óleo utilizado? Os desenhos apresentam sementes germinadas no controle e sementes não germinadas ou com menor crescimento nos tratamentos com substâncias? Quando as crianças distinguem concentrações ou percebem que “quanto mais produto, menos cresce”, há indícios de raciocínio proporcional e aproximação da ideia de dose-resposta. A retomada das hipóteses iniciais permite observar se a criança compara o que imaginava antes com o resultado observado, construindo explicações sobre como a poluição pode afetar as plantas.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Transposição didática: “Cebolete, a detetive ambiental”

Os resultados a partir da contação de história e do experimento evidenciaram que a atividade foi fundamental para introduzir o tema da preservação ambiental e despertar a percepção ecológica nas crianças. Durante a roda de conversa inicial, observou-se o envolvimento e a participação ativa das crianças referente a poluição e o descarte incorreto de resíduos.

Os desenhos produzidos pelas crianças-(Figura 6) revelam não apenas a compreensão da estrutura do experimento com as cebolas, mas também a construção de significados científicos em processo. As representações gráficas indicam que as crianças conseguiram identificar elementos centrais da atividade, como os potes, as cebolas, as repetições e as variações observadas, demonstrando a consolidação de noções iniciais de observação sistemática e registro.

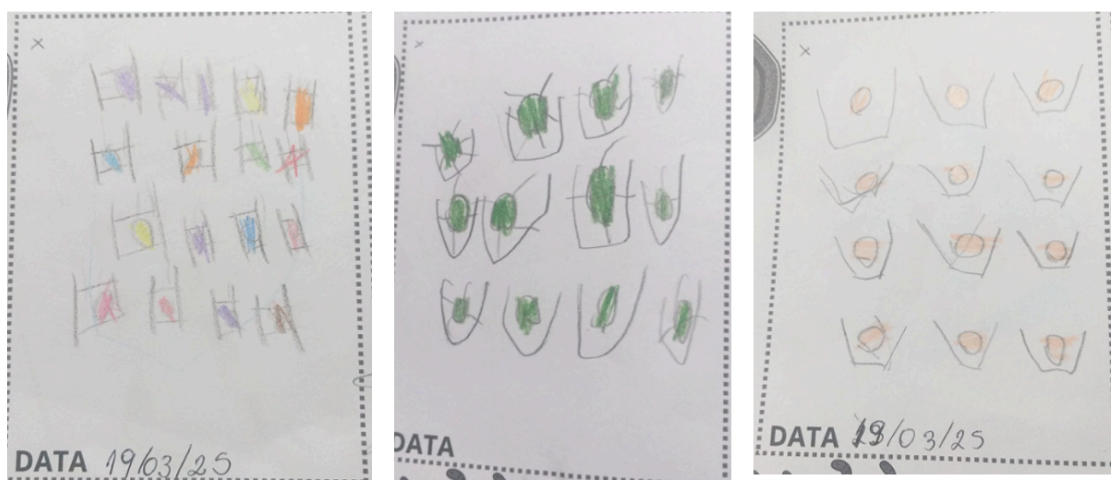
Figura 6: Desenhos de três crianças de como o experimento foi realizado



ATIVIDADE II



DESENHE COMO VOCÊ FEZ O EXPERIMENTO:



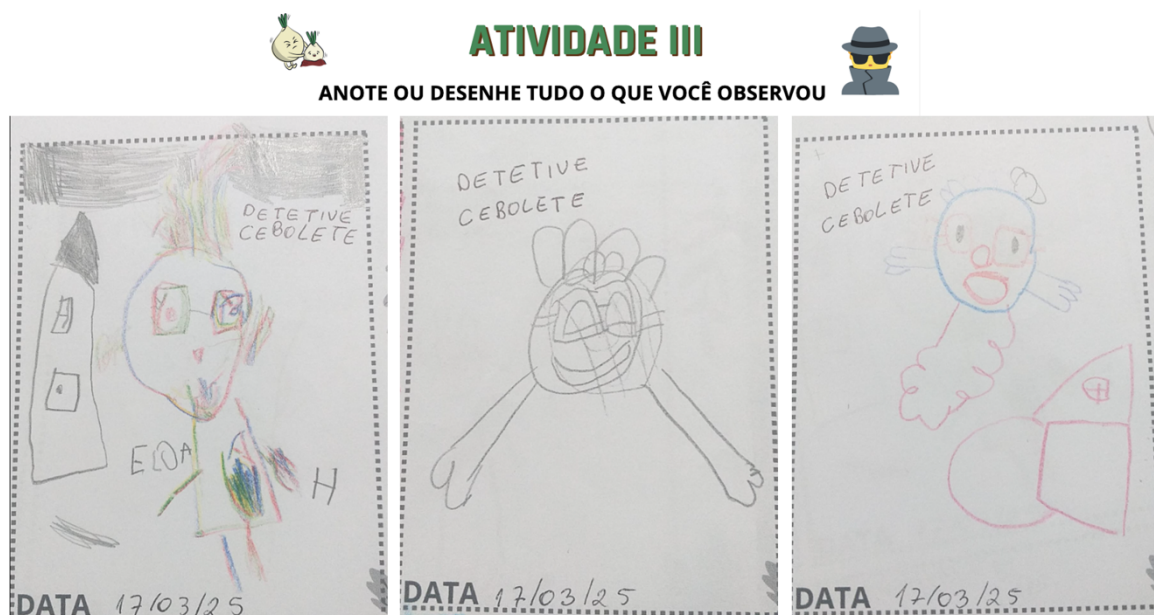
Fonte: Arquivo pessoal da autora.

Conforme destacam Piaget (1978) e Vygotsky (1988), o desenho na infância é uma forma de linguagem simbólica que permite à criança representar o real a partir de suas próprias experiências e hipóteses. Tais produções evidenciam um avanço nas habilidades de observação, comparação e inferência, aspectos essenciais à alfabetização científica, conforme apontam Sasseron e Carvalho (2011). Assim, o uso do desenho como instrumento de registro e reflexão favoreceu a expressão autônoma das observações e o desenvolvimento do pensamento investigativo, permitindo à professora acompanhar o percurso de aprendizagem e promover discussões sobre a relação entre as condições ambientais e o crescimento dos seres vivos.

Percebeu-se que o uso do fantoche foi essencial no processo de ensino-aprendizagem, promovendo um maior envolvimento lúdico das crianças com o tema abordado. Esse engajamento foi evidenciado pelo encantamento manifestado nas ilustrações produzidas pelas crianças-(Figura 7).

Figura 7: Registro do fantoche utilizado em sala, a Cebolete, a detetive ambiental

Fonte: Arquivo pessoal da autora.



Por meio do primeiro registro abaixo, é possível perceber que a criança diferencia a água contaminada (Figura 8 A) e a água não contaminada (Figura 8 B). Ela identificou os impactos da poluição nos sistemas aquáticos e como solução para o problema, ela sugeriu não poluir os rios.

A outra criança fez um registro mais amplo, fazendo o desenho do planeta terra, no qual colocou pontinhos, para destacar alguns pontos contaminados do nosso planeta (Figura 8 C). E como conclusão, ele se propõe pegar a água poluída para tentar filtrar, como uma possível solução para o problema (Figura 8 D). No último registro, a criança também percebe o ambiente contaminado, mas numa situação mais pontual, registrando a televisão descartada incorretamente no parque como um elemento poluidor (Figura 8 E). Como solução, ela representou uma menina retirando o lixo do rio e colocando-o na lixeira (Figura 8 E).

Figura 8: Registro das observações de três crianças ao longo da realização do experimento



Fonte:

Arquivo pessoal da autora.

Os resultados obtidos no experimento “Cebotele, a detetive ambiental” demonstram uma efetiva integração entre teoria e prática, evidenciando os princípios da alfabetização

científica (AC) discutidos por Sasseron e Carvalho (2011) e Marques e Marandino (2019). A atividade favoreceu o desenvolvimento de habilidades de observação, comparação e inferência pelas crianças de 4 a 5 anos, que, ao observarem o crescimento desigual das raízes das cebolas expostas às diferentes amostras de água, começaram a formular hipóteses sobre a relação entre a qualidade da água e a vitalidade vegetal. Tal processo evidencia o que Sasseron (2015) denomina indicadores da AC, ao estimular o levantamento e o teste de hipóteses, a busca de explicações e o uso do raciocínio lógico, aproximando o fazer científico da realidade infantil.

Observa-se que a ludicidade se constituiu como mediadora essencial no processo de ensino-aprendizagem. Conforme defendem Marques e Marandino (2019), o brincar é uma linguagem estruturante da infância e um meio legítimo de expressão e construção do conhecimento. O uso do fantoche “Cebolete” e da narrativa investigativa criou um ambiente simbólico no qual as crianças puderam atuar como pequenas cientistas, observando, registrando e interpretando fenômenos naturais. Essa abordagem dialoga com a perspectiva histórico-cultural de Vygotsky (1988), segundo a qual a aprendizagem ocorre pela mediação e pela interação social, permitindo que as crianças avancem na zona de desenvolvimento proximal por meio de experiências compartilhadas e significativas.

Além disso, o desenho das crianças como forma de registro das observações reforça a concepção de Piaget (1978) sobre o pensamento representativo na infância, que se manifesta por meio de símbolos e imagens antes da linguagem escrita. Ao traduzirem suas percepções sobre o experimento em traços e cores, as crianças não apenas registraram resultados empíricos, mas também expressaram hipóteses implícitas sobre causa e efeito, compreendendo, por exemplo, que águas poluídas podem prejudicar o crescimento vegetal.

Essa dimensão simbólica do registro aproxima-se do que Lorenzetti e Delizoicov (2001) definem como fase inicial da AC, em que a criança atribui significados às suas experiências e começa a compreender fenômenos científicos em contextos cotidianos.

Por fim, a realização do experimento, simulando o bioensaio de *Allium cepa*, reconhecido por organismos internacionais, como o PNUMA e a OMS, como um indicador confiável de toxicidade ambiental, proporcionou às crianças uma vivência concreta de um método científico simplificado (Leme e Marin-Morales, 2009; Tedesco e Laughinghouse, 2012).

5.2 Transposição didática: Contação da história “As Descobertas de Luiz”

Dando continuidade aos experimentos, a contação da história ilustrada “As descobertas de Luiz”, com o apoio de imagens impressas em formato A4, serviu como introdução ao experimento “A fuga das minhocas”. Essa abordagem foi fundamental para contextualizar a atividade, permitindo que os alunos compreendessem os acontecimentos, levantassem hipóteses e se envolvessem ativamente nas discussões sobre as problemáticas ambientais apresentadas.

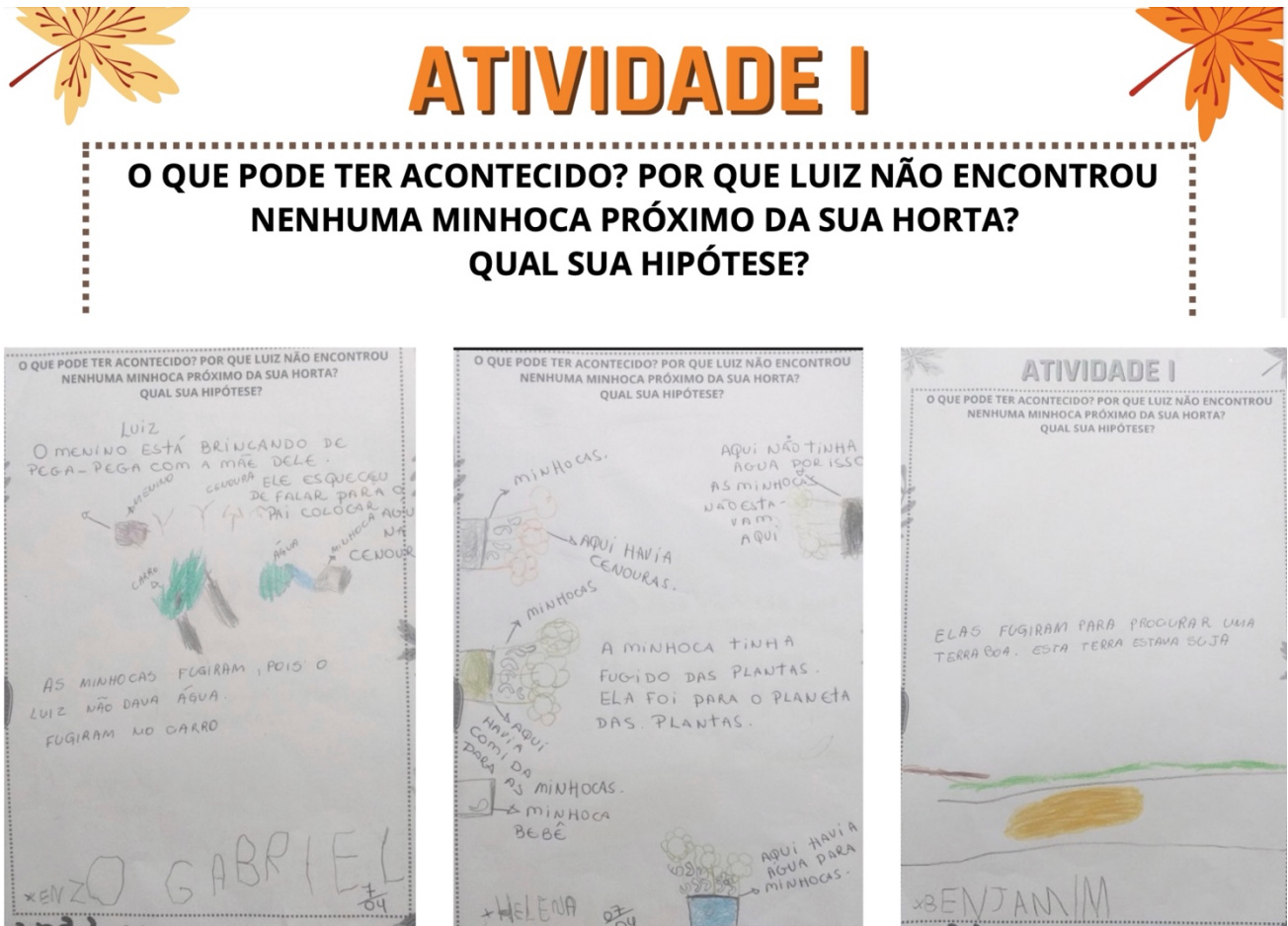
As crianças demonstraram curiosidade, envolvimento e encantamento, observando atentamente o comportamento das minhocas e relacionando suas percepções às hipóteses formuladas anteriormente. Em alguns casos, o contato direto com os organismos despertou sentimentos de medo, especialmente entre aquelas que nunca haviam visto esse tipo de ser vivo, o que reforçou o caráter formativo e sensível da atividade.

A manipulação cuidadosa dos animais e a montagem coletiva do minhocário contribuíram para o desenvolvimento de atitudes de respeito, empatia e responsabilidade em relação aos seres vivos. Ao longo do processo investigativo, as crianças formularam hipóteses, registraram observações e participaram das discussões em grupo, demonstrando crescente capacidade de análise e reflexão sobre os impactos ambientais.

A contação da história também permitiu que as crianças tivessem contato com os termos “solos contaminados” e “não contaminados”, compreendendo que substâncias como agrotóxicos podem causar danos aos seres vivos do solo, vivência científica, registrada por meio de desenhos e relatos orais que destacaram a importância de preservar o solo e cuidar da natureza.

Como parte da sequência didática, foram aplicadas atividades impressas, nas quais as crianças expressaram suas hipóteses e interpretações sobre o desaparecimento das minhocas da Horta de Luiz, utilizando ilustrações autorais. Os resultados dessas produções revelaram o desenvolvimento do pensamento crítico e científico, ampliando as reflexões iniciadas no experimento anterior, intitulado “A experiência da cebola”, conforme figura abaixo.

Figura 9: Registro das hipóteses de três crianças em relação à pergunta: “O que pode ter acontecido? Por que Luiz não encontrou nenhuma minhoca próxima da sua horta? Qual sua hipótese?”



Fonte: Arquivo pessoal da autora.

De acordo com o primeiro registro, nota-se que a criança percebeu que a negligência na rega das cenouras é o que pode ter causado o desaparecimento das minhocas, evidenciando o entendimento de que ações humanas podem afetar os seres vivos. Na sequência de registros, são apresentadas várias hipóteses, a falta de água, a presença de “comida” e água para minhocas em outros lugares, indicando seu conhecimento sobre a importância da qualidade da terra e a conservação de água e que estão relacionados à sobrevivência das minhocas. Por fim, o último registro escolhido para documentar esta etapa da atividade, a criança percebe que a terra não era adequada para as minhocas, associou a “terra suja” contaminada à ausência de minhocas, demonstrando uma percepção de que poluição e degradação do ambiente impactam a vida das minhocas e dos seres vivos como um todo, uma vez que no seu desenho não existem mais artefatos ou registros.

Os registros das hipóteses formuladas pelas crianças a partir dos experimentos sobre a fuga das minhocas podem ser compreendidos à luz da ecotoxicologia comportamental, conforme discutido por Ford *et al.* (2022). Essa área do conhecimento examina como contaminantes e estressores ambientais influenciam o comportamento dos organismos, afetando aspectos fundamentais para sua sobrevivência e, conseqüentemente, para a dinâmica das populações e comunidades.

Os autores supracitados, destacam que o comportamento é um indicador sensível de distúrbios ambientais e que mudanças comportamentais induzidas por contaminantes são frequentemente precoces sinais de efeitos adversos, podendo repercutir em níveis ecológicos superiores, como populações e ecossistemas.

No experimento, as crianças relacionaram a ausência das minhocas à falta de água, à qualidade do solo e à possível contaminação da “terra suja”, revelando uma percepção intuitiva de que as ações humanas e a degradação ambiental podem desencadear alterações comportamentais nos organismos.

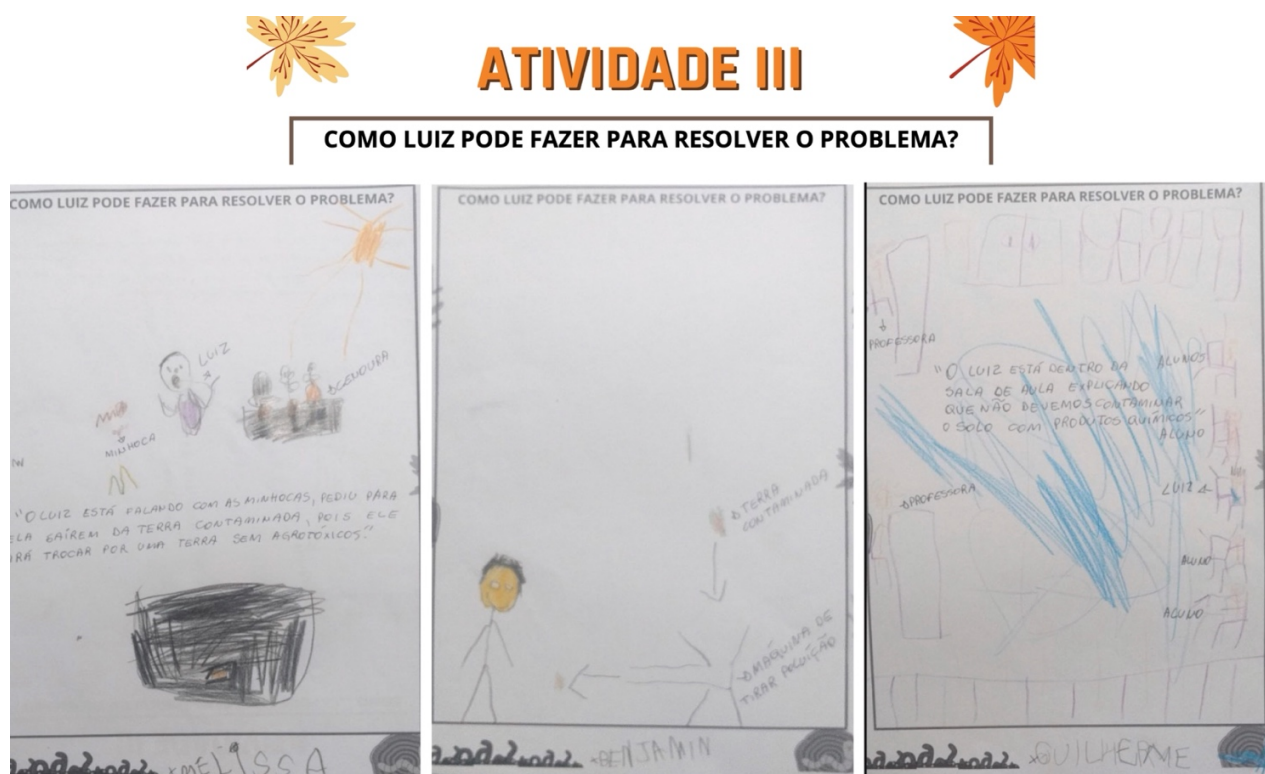
A percepção infantil acerca da importância da água e da qualidade do solo para a sobrevivência das minhocas reflete justamente esses conceitos, evidenciando que a alteração do habitat, seja pela degradação, poluição ou falta de recursos, leva as minhocas a modificarem seu comportamento, neste caso, a fuga ou ausência no ambiente contaminado.

Além disso, o entendimento das crianças sobre a associação entre “terra suja” e ausência das minhocas remete à ideia central da ecotoxicologia comportamental que relaciona a poluição e a degradação ambiental como causas de perturbação comportamental e prejuízo ecológico. Assim, mesmo num contexto educativo simplificado, as observações das crianças evidenciam conceitos centrais da ecotoxicologia comportamental: a influência dos contaminantes no comportamento dos animais, a relação entre qualidade ambiental e sobrevivência, e o papel do comportamento como um indicador sensível da saúde ambiental. Esses elementos reforçam a importância de se considerar o comportamento nas avaliações ambientais e ressaltam a necessidade de uma compreensão e percepção mais ampla sobre os impactos da ação humana nos ecossistemas, conforme defendido pelos autores do estudo.

Na sequência das atividades, as crianças são desafiadas a propor uma solução para o problema enfrentado pelo Luiz: “Como Luiz pode fazer para resolver o problema?” Segundo as reflexões das crianças, diferentes abordagens podem contribuir para a solução do problema (Figura 10).

No primeiro registro foi proposto, de forma sensível e lúdica, que Luiz pedisse às minhocas que saíssem da terra contaminada por agrotóxicos, substituindo-a por uma terra limpa e livre de contaminantes. No segundo registro, percebe-se criatividade para solução do problema, ao propor uma máquina intitulada “Máquina de tirar poluição”. Na sua representação, a terra contaminada passava pela máquina e retornava limpa, simbolizando uma compreensão de que ações tecnológicas podem reverter os efeitos da poluição. Por fim, no último, o desenho ilustra Luiz dentro de uma sala de aula explicando às outras crianças a importância de evitar a contaminação do solo.

Figura10: Registro das proposições de “Como Luiz pode fazer para resolver o problema?”



Fonte: Arquivo pessoal da autora.

A atividade proposta traduz em prática educativa os conceitos fundamentais da ecotoxicologia comportamental apresentadas por muitos autores (De Azevedo e Coronas, 2018; Sisino e Oliveira-Filho, 2021) mas também apresenta um paralelo pedagógico com essa perspectiva científica. A ideia de "pedir para as minhocas saírem da terra contaminada e substituí-la por terra limpa" reflete intuitivamente o comportamento de fuga dos organismos

identificado nos bioensaios da pesquisa, evidenciando a percepção natural da busca por ambientes saudáveis.

A "Máquina de tirar poluição" simboliza a compreensão de processos de remediação e de intervenção tecnológica para restaurar a qualidade do solo, algo fundamental nos estudos e aplicações práticas da ecotoxicologia para mitigar os efeitos tóxicos. Conforme evidenciado por Laugksch (2000), o aspecto da AC inclui a aplicação do conhecimento em funções sociais, aqui especificamente para reparar danos causados pela poluição, demonstrando uma visão integrada entre ciência, tecnologia e sociedade.

E, por fim, a proposta de Luiz dialogar com outras crianças sobre a importância de evitar a contaminação indica a dimensão educativa e preventiva do manejo ambiental, crucial para a sustentabilidade dos ecossistemas do solo. A atividade reforça a dimensão sociopolítica da AC, colocando o sujeito em posição ativa de transformação social, conforme a ideia freiriana de autoformação e intervenção crítica no contexto defendida por Silva e Sasse-ron (2021).

Conforme indicado por Lorenzetti e Delizoicov (2001), a AC deve partir de atividades que envolvam práticas experimentais contextualizadas, que não sejam mera repetição mecânica, mas que instiguem uma postura investigativa por parte dos alunos, favorecendo uma aprendizagem significativa. No experimento das minhocas, as crianças não apenas observam um fenômeno, mas são desafiadas a pensar em soluções para o problema da contaminação do solo, exercitando o pensamento crítico e a criatividade.

Além disso, os mesmos autores destacam a importância da relação entre experiências práticas e a ampliação do repertório de significados e compreensões, utilizando múltiplos recursos didáticos articulados ao planejamento escolar para enriquecer a AC. A atividade proposta se insere nesse contexto, já que as crianças expressam suas compreensões por meio de desenhos simbólicos e de explicações orais, integrando ciência, linguagem e cultura, elementos centrais para a AC.

Ao final da experiência, a devolução das minhocas à horta da escola simbolizou o fechamento de um ciclo de cuidado e aprendizagem, reforçando valores éticos e ambientais. De modo geral, os resultados indicam que a atividade favoreceu o desenvolvimento do pensamento científico, a ampliação do vocabulário e a compreensão dos efeitos da poluição, promovendo uma aprendizagem por meio da observação, comparação, formulação de hipóteses e reflexão.

A atividade, também esteve alinhada à teoria histórico-cultural (HEDEGAARD, 2002) que destaca a importância da interação social, do papel do ambiente e das atividades concretas na construção do conhecimento, consolidando o caráter formativo, investigativo e ético das práticas pedagógicas desenvolvidas.

5.3 Transposição didática: Germinação de sementes de feijão

A realização do experimento com sementes de feijão, exposta a diferentes concentrações de substâncias domésticas (detergente, água sanitária, óleo de cozinha usado e água como controle), proporcionou às crianças uma experiência prática e concreta sobre os efeitos da poluição aquática. Observando as proporções de 0%, 25%, 50% e 100%, compreenderam o conceito de relação dose-resposta, onde as sementes expostas à água (controle) germinaram normalmente, enquanto aquelas submetidas a baixas concentrações (25%) apresentaram crescimento reduzido, e às concentrações mais altas (50% e 100%), o crescimento foi prejudicado ou ausente. Dessa forma, constatou-se que quanto maior a quantidade de poluente, maior o impacto negativo sobre o vegetal, reforçando a ideia de relação causal entre quantidade de poluente e dano ambiental (Mitelut e Popa, 2011).

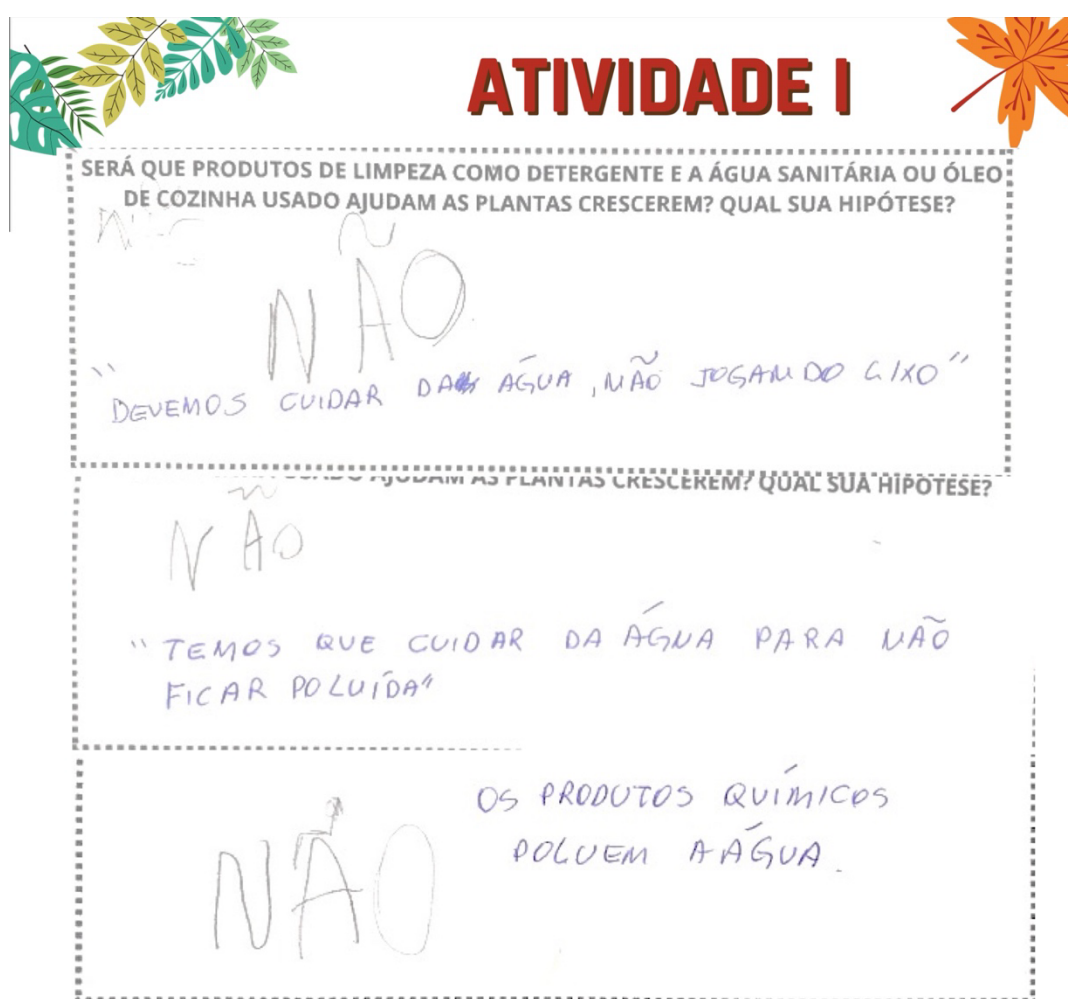
Ademais, a gradação dos efeitos permitiu que as crianças compreendessem, de maneira concreta, que quanto maior a quantidade de poluente, maior o impacto negativo causado ao organismo vegetal. Tal compreensão evidencia o desenvolvimento inicial do raciocínio proporcional relacionado ao conceito de dose-resposta na ecotoxicologia.

Durante a atividade, as crianças participaram ativamente da construção do experimento, o que favoreceu o engajamento e o protagonismo infantil. Ao manipular materiais e utilizar conceitos matemáticos para contar e distribuir exatamente dez sementes em cada pote, desenvolveram raciocínio lógico e noção de quantidade. O contato com instrumentos científicos, como a pipeta, despertou curiosidade e permitiu às crianças vivenciar práticas experimentais de forma concreta.

O uso da pipeta para acrescentar as soluções nos recipientes também aprimorou habilidades motoras finas e exemplificou a importância da precisão em procedimentos científicos. Uma observação visual que chamou atenção foi a separação do óleo de cozinha na mistura com água, o que gerou surpresa e interesse. Essa demonstração visual proporcionou compreensão intuitiva sobre conceitos de proporção e diferenças entre tipos de mistura, ajudando na interpretação dos efeitos dos poluentes.

Após o término do processo de montagem do experimento, as crianças levantaram a problemática com a seguinte pergunta: “Será que produtos de limpeza, como o detergente, a água sanitária ou o óleo de cozinha usado, ajudam as plantas a crescerem? Qual é a sua hipótese?” (Figura 11). As respostas dos alunos foram semelhantes, mesmo sendo o início do experimento, porém, graças ao conhecimento científico e investigativo adquirido nos experimentos anteriores, eles conseguiram compreender essa questão.

Figura 11: Registro das hipóteses para a pergunta: “Será que produtos de limpeza, como o detergente, a água sanitária ou o óleo de cozinha usado, ajudam as plantas a crescerem?”



Fonte: Arquivo pessoal da autora.

Nas três respostas, foi possível perceber que eles desenvolveram uma postura de cuidado com a água, entendendo a necessidade de evitar a contaminação por lixo ou produtos químicos, mostrando o uso de seu pensamento crítico ao relacionar a problemática ao

contexto externo, como sugerido na pesquisa de Mitelut e Popa (2011), que ressalta a relevância de observar os efeitos ambientais das substâncias tóxicas na formação do conhecimento das crianças.

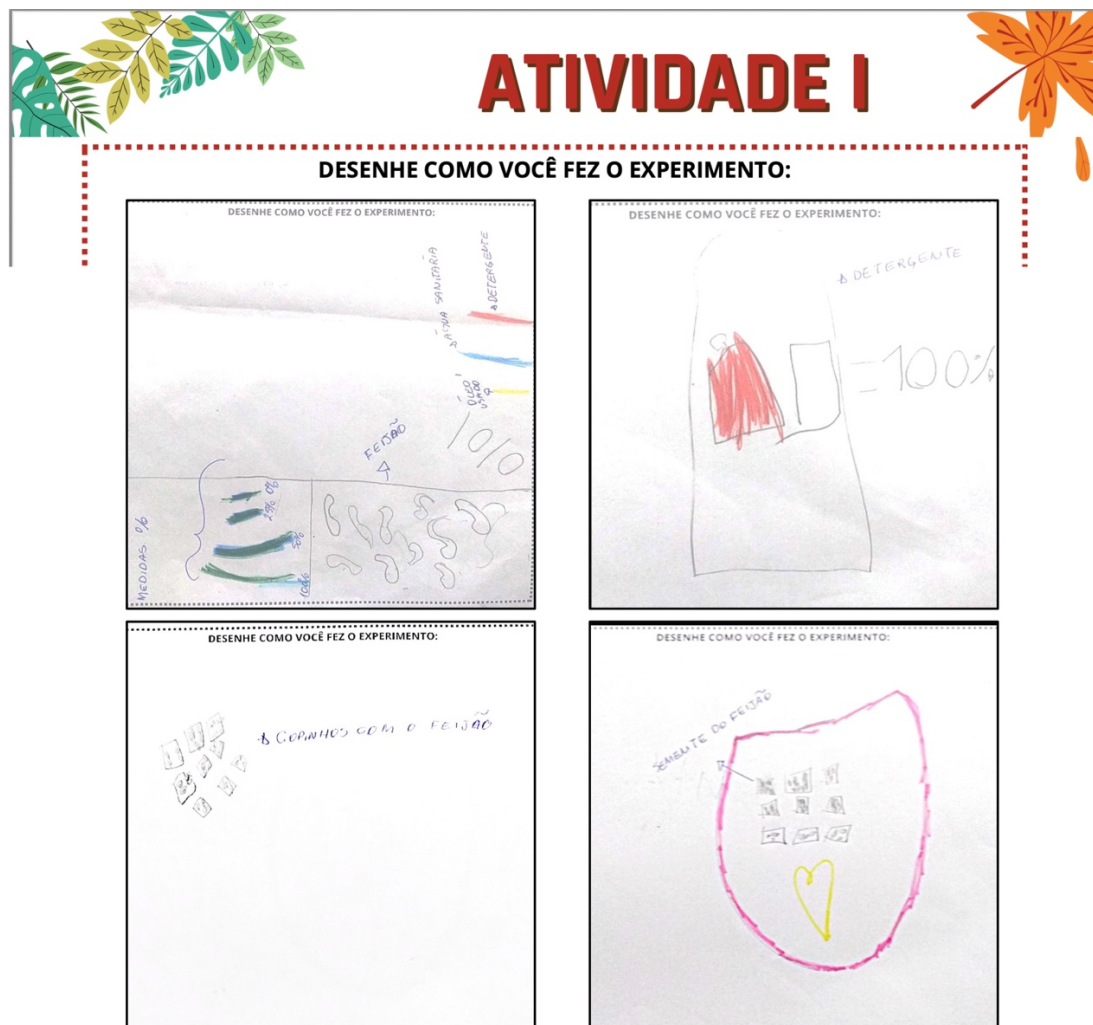
Ao desenhar o experimento (Figura 12), observou-se que as crianças demonstraram uma postura observadora e científica, registrando detalhes do procedimento e principalmente em relação ao conceito de dose-resposta. No contexto da avaliação da toxicidade de compostos, muitos autores apresentam pesquisas relacionando tais conceitos para detectar efeitos fisiológicos e morfológicos associados à presença de contaminantes (Mitelut e Popa, 2011; Mothe *et al.*, 2019; Almeida *et al.*, 2021; Duque *et al.*, 2020; De Sousa *et al.*, 2022; Rodrigues *et al.*, 2022).

Os registros infantis apresentados na Figura 12 demonstraram essa apropriação conceitual de forma bastante significativa. Em um dos desenhos, a criança representou dois recipientes distintos: um contendo “100% detergente”, identificado como contaminante, e outro contendo “100% água”, utilizado como controle. A representação das diferenças no crescimento das plantas em cada recipiente evidenciou que a criança compreendeu a relação entre a quantidade da substância e o efeito observado no vegetal.

No primeiro registro é possível perceber que conseguiu explicar as etapas do procedimento, corroborando a ideia de que a atividade lúdica e a prática participativa auxiliam na compreensão do método científico por parte dos alunos, na perspectiva de Sasseron e Silva (2021). No mesmo registro, ela também integrou conceitos de proporção e dose-resposta em suas ilustrações, demonstrando entendimento do conceito de relação entre quantidade de substância e o efeito causado.

O registro da outra criança apresentou a percepção do conceito de dose-resposta, aprofundando sua compreensão através do desenho, onde representou dois recipientes, um com 100% de detergente (contaminante) e outro com 100% de água (controle). Essa atividade visual revelou que a mesma conseguiu distinguir as hipóteses de contaminação, desenvolvendo pensamento científico e raciocínio lógico. Já nos registros seguintes, as duas crianças participaram ativamente da montagem do experimento, e suas ilustrações refletiram uma compreensão do processo.

Figura 12: Registro do experimento de germinação de sementes de feijão

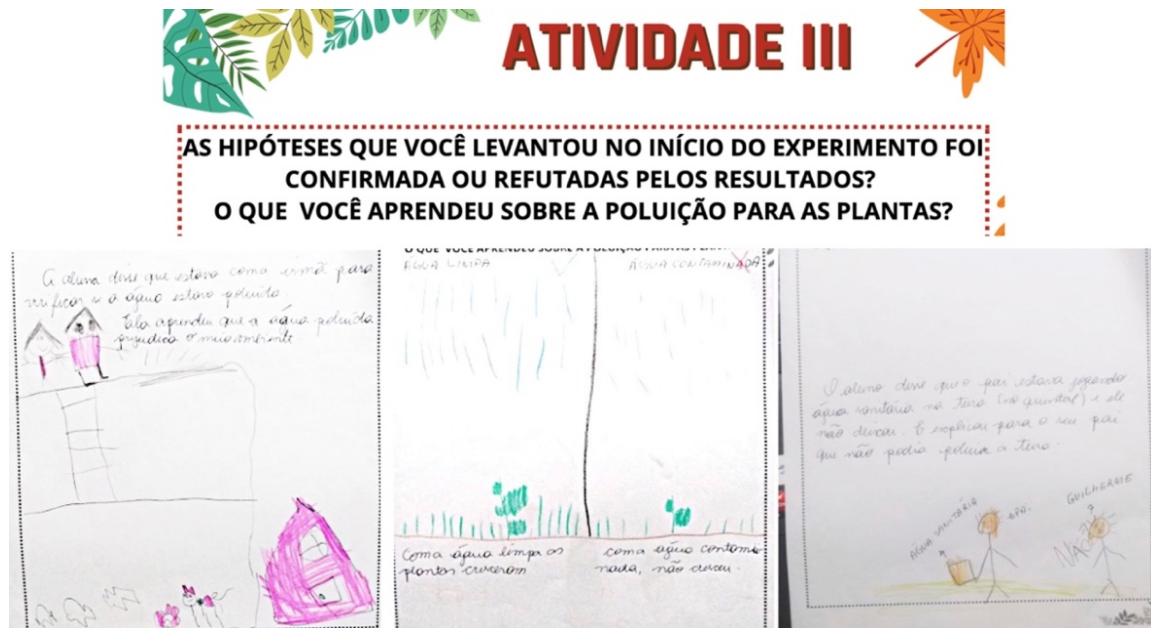


Fonte: Arquivo pessoal da autora.

É importante destacar que a elaboração e utilização do gráfico para o registro dos resultados demonstrou ser relevante para a aprendizagem. Durante a contagem coletiva das sementes que se desenvolveram ou não, as crianças realizaram anotações individuais, empregando lápis coloridos para facilitar a identificação e organização dos dados.

Para finalizar, na proposta, uma última atividade, composta pelas seguintes perguntas: “As hipóteses que você levantou no início do experimento foram confirmadas ou refutadas pelos resultados? O que você aprendeu sobre a poluição e seu impacto nas plantas?” Após uma roda de conversa, as crianças expressaram suas respostas de forma individual, espontânea e lúdica, por meio de ilustrações, demonstrando envolvimento e interesse pela atividade conforme a Figura 13.

Figura 13: Registro do experimento de germinação de sementes de feijão



Fonte: Arquivo pessoal da autora.

Os resultados indicam que as crianças apresentaram um interesse expressivo em compartilhar as informações adquiridas, demonstrando compreensão sólida dos temas abordados e contribuindo para o aprendizado colaborativo, aspecto fundamental na Educação Infantil. Além disso, um dos registros apresentou uma diferenciação importante ao discernir entre água limpa e contaminada, apoiando-se em experimentos que evidenciaram que a água pura favorece o crescimento vegetal, enquanto a água contaminada não promove esse efeito.

Esses registros demonstram que a abordagem experimental e o caráter investigativo das atividades contribuíram para a ampliação da AC na educação infantil, conforme defendem Sasseron e Carvalho (2011), ao enfatizarem a importância do estímulo à curiosidade e à argumentação desde os primeiros anos escolares. Antes da execução dos experimentos, a discussão inicial sobre o meio ambiente e sua preservação serviu como ponto de partida para introduzir o tema da ecotoxicologia.

Essa etapa favoreceu a construção de um repertório prévio, possibilitando que as crianças relacionassem as situações do cotidiano, como o uso de produtos domésticos, com possíveis impactos ambientais. Nos experimentos realizados, observou-se que as crianças conseguiram formular hipóteses, observar resultados e comparar situações, evidenciando

um processo de raciocínio científico em desenvolvimento. Esse movimento de investigação e reflexão aproxima-se do que Sasseron e Carvalho (2011) e Marques e Marandino (2019) descrevem como um processo de “investigação orientada”, no qual o aluno é levado a pensar, testar e reconstruir seus saberes com base nas observações empíricas.

6. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS:

A pesquisa teve como principal objetivo investigar o impacto de estratégias educacionais a partir das transposições didáticas dos bioensaios. Baseadas na contação de histórias, experimentos práticos e atividades lúdicas voltadas à ecotoxicologia, buscando promover a percepção ambiental e a AC de crianças na Educação Infantil. Ao longo do percurso metodológico, as ações implementadas mostraram que, quando mediadas intencionalmente e contextualizada, as práticas experimentais favorecem o desenvolvimento do pensamento científico, a curiosidade investigativa e atitudes éticas em relação ao meio ambiente.

Thomas e Krawczyk (2023) apresentam fundamentos teóricos e metodológicos que dialogam diretamente com a pesquisa desenvolvida nesta dissertação, especialmente no que se refere à inserção da ecotoxicologia no ensino de ciências como estratégia de alfabetização científica, ambiental e cidadã.

Ambas as produções partem da compreensão de que o ensino de ciências deve promover a formação integral e emancipatória do sujeito, por meio de práticas que estimulem a observação, a problematização, a formulação de hipóteses e a reflexão crítica. Thomas e Krawczyk (2023) propõem o uso da Aprendizagem Baseada em Problemas (PBL) e da contação de histórias como instrumentos didáticos capazes de aproximar os alunos dos fenômenos científicos, o que se concretiza na presente pesquisa por meio de uma abordagem qualitativa, participativa e lúdica, estruturada em sequências didáticas experimentais.

Os bioensaios sugeridos pelas autoras, como os experimentos de germinação de sementes e o teste de fuga, encontram correspondência direta nas atividades práticas desenvolvidas nesta pesquisa, que adaptou esses procedimentos ao contexto da Educação Infantil. O uso da transposição didática confirma a viabilidade pedagógica das propostas apresentadas, demonstrando que é possível trabalhar conteúdos ecotoxicológicos de modo acessível, ético e contextualizado com crianças pequenas.

Thomas e Krawczyk (2023), assim como a professora-pesquisadora, compartilham a preocupação com a formação docente e com a transposição didática dos conceitos científi-

cos, ressaltando a necessidade de estratégias e materiais que tornem a ecotoxicologia compreensível e significativa. Suas contribuições fundamentam a pesquisa apresentada, que evidencia, na prática, que atividades experimentais contextualizadas, mediadas pela ludicidade e pela investigação, favorecem a alfabetização científica e o desenvolvimento de atitudes éticas e críticas desde a Educação Infantil.

Os resultados revelaram que as crianças compreenderam, de maneira concreta, conceitos complexos como toxicidade, dose-resposta, sensibilidade das espécies e poluição ambiental, ao vivenciarem situações de aprendizagem que integravam observação, formulação de hipóteses e análise de resultados. Essa abordagem permitiu atingir o objetivo específico de despertar o interesse e o engajamento das crianças pelos fenômenos científicos, reforçando o potencial das metodologias investigativas e participativas na Educação Infantil.

As atividades desenvolvidas, os experimentos com cebolas (*A. cepa*), sementes de feijão e minhocas, materializaram a proposta de AC, aproximando os conceitos de ecotoxicologia da realidade das crianças por meio de experiências sensoriais, simbólicas e afetivas. A partir da contação de histórias ilustradas, as crianças foram convidadas a construir sentidos sobre a poluição e o cuidado com a natureza, alcançando-se o objetivo de estimular a reflexão crítica e a empatia pelos organismos vivos.

A pesquisa atendeu ao objetivo de avaliar o desenvolvimento de habilidades cognitivas e socioemocionais, como a capacidade de observação, comparação, raciocínio lógico e argumentação, ao demonstrar que o processo de investigação científica, mesmo em idades iniciais, pode ser vivenciado de modo prazeroso. A participação ativa das crianças nas etapas experimentais mostrou que o aprendizado ocorre de forma mais sólida quando a experiência é compartilhada, dialogada e contextualizada.

Do ponto de vista metodológico, o estudo reafirma a relevância da abordagem qualitativa e participativa como meio de compreender a aprendizagem científica em contextos reais de sala de aula. A atuação da professora-pesquisadora, enquanto mediadora e coautora do processo educativo, possibilitou reflexões sobre as práticas pedagógicas e o papel da docência na formação de sujeitos críticos e responsáveis.

De forma crítica, os resultados indicam que a integração entre ludicidade, experimentação e ética ambiental constitui um caminho promissor para o ensino de ciências na Educação Infantil, desde que ancorado em fundamentos teóricos sólidos e em uma prática docente reflexiva.

Em síntese, esta pesquisa demonstra que é possível articular teoria e prática em uma proposta de ensino investigativa e crítica, que não apenas desperta o interesse das crianças

pela ciência, mas também as forma como agentes sensíveis à preservação da vida e do planeta. A AC, nesse contexto, assume uma dimensão política e emancipatória, que ultrapassa os limites da sala de aula e se projeta para a formação de uma sociedade mais ética, solidária e sustentável.

Como encaminhamento futuro, recomenda-se o aprofundamento dessa proposta em outros níveis da Educação Básica, bem como a formação continuada de professores voltada ao ensino de ciências em perspectivas investigativas e ambientalmente responsáveis, ampliando o alcance social e educativo da alfabetização científica iniciada na infância.

7. Declaração de Uso de Inteligência Artificial

Este trabalho contou com o apoio de ferramentas de Inteligência Artificial generativa para fins de suporte técnico e linguístico, incluindo: (I) revisão normativa de textos, com foco na correção gramatical, ortográfica e de estilo; (II) traduções curtas e pontuais, sem prejuízo da autoria intelectual do conteúdo; e (III) auxílio na organização preliminar de dados, referências e ideias, por meio de processos como brainstorming e categorização temática.

8. REFERÊNCIAS

AKHTAR, N. *et al.* **Various natural and anthropogenic factors responsible for water quality degradation: A review.** *Water*, v. 13, n. 19, p. 2660, 2021.

ALIAS, CARLOTTA *et al.* ***Allium cepa* tests: A plant-based tool for the early evaluation of toxicity and genotoxicity of newly synthesized antifungal molecules.** *Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis*, v. 889, p. 503654, 2023.

ALMEIDA, LUCIANE MADUREIRA *et al.* **Conservação e monitoramento ambiental utilizando *Allium Cepa* como indicadora de poluição das águas superficiais: uma revisão narrativa.** In: **Águas e florestas: desafios para conservação e utilização.** Editora Científica Digital, 2021. p. 174-191.

AZEVEDO, F. A.; CHASIN, A. A. M. **As bases toxicológicas da ecotoxicologia.** São Carlos. RiMa. São Paulo: Intertox, 2003.

BONCIU, E.; FIRBAS, P.; FONTANETTI, C.S.; WUSHENG, J.; KARASMAILOĞLU, M.C.; LIU, D.; MENICUCCI, F.; PESNYA, D.S.; POPESCU, A.; ROMANOVSKY, A.V.; *et al.* **An evaluation for the standardization of the *Allium cepa* test as cytotoxicity and genotoxicity assay.** *Caryologia* 71, 191–209, 2018.

BOROS, B-V.; OSTAFE, VASILE. **Evaluation of ecotoxicology assessment methods of nanomaterials and their effects.** *Nanomaterials*, v. 10, n. 4, p. 610, 2020.

BRASIL. Ministério da Educação. **Resolução CNE/CP nº 2, de 22 de dezembro de 2017. Define a organização curricular da Educação Infantil na Educação Básica.** Diário Oficial da União, Brasília, DF, 27 dez. 2017.

CARSON, RACHEL. **Silent spring.** In: Thinking about the environment. Routledge, 2015. p. 150-155.

CESAR, R. G. *et al.* **(Eco)toxicologia de metais em solos: conceitos, métodos e interface com a geoquímica ambiental.** Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2014. 100p.

DE AZEVEDO, AMANDA RAMPELOTTO; CORONAS, MARIANA VIEIRA. **Uso de testes de fuga com minhocas *Eisenia andrei* e *Eisenia fetida* para identificação da toxicidade de agrotóxicos no Brasil: Uma breve revisão da literatura.** Ciência e Natura, p. 18-26, 2018.

DE SOUSA, SHARA SONALLY OLIVEIRA *et al.* **Avaliação da toxicidade do lodo da estação de tratamento de gurjaú utilizando diferentes sementes como bioindicadores.** Revista Saúde e Meio Ambiente, v. 14, n. 2, p. 162-188, 2022.

DUQUE, TAYNA SOUSA *et al.* **Uso de bioindicadoras vegetais para identificação de resíduos de herbicidas no solo.** Research, Society and Development, v. 9, n. 9, p. e999998123-e999998123, 2020.

FISKESJÖ, G. **The *Allium* test as a standard in environmental monitoring.** Hereditas 1985, 102, 99–112.

FORD, A. T. *et al.* **The Role of Behavioral Ecotoxicology in Environmental Protection.** Environmental Science & Technology, v. 55, n. 9, p. 5620–5628, 2022. DOI: 10.1021/acs.est.0c06493.

FREIRE, PAULO. **Educação como prática da liberdade.** Editora Paz e terra, 2014.

FRITSCH, CLÉMENTINE *et al.* **Wildlife ecotoxicology of plant protection products: knowns and unknowns about the impacts of currently used pesticides on terrestrial vertebrate biodiversity.** Environmental Science and Pollution Research, v. 32, n. 6, p. 2893-2955, 2025.

GUERRERO, GONZALO; SJÖSTRÖM, JESPER. **Critical scientific and environmental literacies: a systematic and critical review.** Studies in Science Education, v. 61, n. 1, p. 41-87, 2025.

HEDEGAARD, MARIANE. **A zona de desenvolvimento proximal como base para o ensino.** In: DANIELS, Harris (org.). Uma introdução a Vygotsky. São Paulo: Loyola, 2002b. p. 199-227.

KAUANO, RAFAEL VITAME; MARANDINO, MARTHA. **Paulo Freire na educação em ciências naturais: Tendências e articulações com a alfabetização científica e o movimento CTSA.** Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências, p. e35064-28, 2022.

LAUGKSCH, RÜDIGER C. **Scientific literacy: A conceptual overview.** Science education, v. 84, n. 1, p. 71-94, 2000.

LEME, DANIELA MORAIS; MARIN-MORALES, MARIA APARECIDA. **Allium cepa test in environmental monitoring: a review on its application.** Mutation research/reviews in mutation research, v. 682, n. 1, p. 71-81, 2009.

LI, JIUYI; SUN, JING; LI, PENGYANG. **Exposure routes, bioaccumulation and toxic effects of per-and polyfluoroalkyl substances (PFASs) on plants: A critical review.** Environment International, v. 158, p. 106891, 2022.

LIBÂNEO, José Carlos. **A didática e a aprendizagem do pensar e do aprender: a teoria histórico-cultural da atividade e a contribuição de Vasili Davydov.** Revista Brasileira de Educação, p. 5-24, 2004.

LORENZETTI, LEONIR; DELIZOICOV, DEMÉTRIO. **Alfabetização científica no contexto das séries iniciais.** Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências (Belo Horizonte), v. 3, n. 01, p. 45-61, 2001.

MALAKAHMAD, AMIRHOSSEIN *et al.* **Genotoxicity assessment of raw and treated water samples using Allium cepa assay: evidence from Perak River, Malaysia.** Environmental Science and Pollution Research, v. 25, n. 6, p. 5421-5436, 2018.

MARQUES, AMANDA CRISTINA TEAGNO LOPES; MARANDINO, MARTHA. **Alfabetização científica e criança: análise de potencialidades de uma brinquedoteca.** Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências (Belo Horizonte), v. 21, p. e10562, 2019.

MARUMURE, JERIKIAS *et al.* **Emerging organic contaminants in drinking water systems: Human intake, emerging health risks, and future research directions.** Chemosphere, v. 356, p. 141699, 2024.

MITELUT, AMALIA CARMEN; POPA, MONA ELENA. **Seed germination bioassay for toxicity evaluation of different composting biodegradable materials.** Romanian Biotechnological Letters, v. 16, n. 1, p. 121-129, 2011.

MOTHE *et al.* **Bioensaios de toxicidade aguda com sementes de lactuca sativa utilizando o sulfato ferroso.** In: Engenharia Sanitária e Ambiental: Tecnologias para a Sustentabilidade 2, Editora Atena, pp.194-199, 2019.

NAÇÕES UNIDAS (ONU). **Transformando nosso mundo: a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável.** Nova York: ONU, 2015.

NICUȚĂ, DANIELA *et al.* **The Allium cepa model: a review of its application as a cytogenetic tool for evaluating the biosafety potential of plant extracts.** Meth and Protocols, v. 8, n. 4, p. 88, 2025.

NIEMEYER, JULIA CARINA *et al.* **Ensaio de comportamento de fuga.** Ecotoxicologia terrestre: métodos e aplicações dos ensaios com oligoquetas. Parte 2: Métodos de ensaios ecotoxicológicos com oligoquetas. Tradução. Brasília, DF: Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2019. p. 261

NIVA, C.C., BROWN, G.G. (Eds.). **Ecotoxicologia terrestre: métodos e aplicações dos ensaios com oligoquetas,** Embrapa Florestas, Curitiba.

PARANÁ. Secretaria de Estado da Educação. **REFERENCIAL CURRICULAR DO PARANÁ: PRINCÍPIOS, DIREITOS E ORIENTAÇÕES**. Curitiba, 2018.

PARVAN, LAIS GONÇALVES *et al.* **Bioensaio com *Allium cepa* revela genotoxicidade de herbicida com flumioxazina**. Revista pan-amazonica de saúde, v. 11, p. 10-10, 2020.

PEDUTO, T. A. G.; JESUS, T. A.; KOHATSU, M. Y. **Sensibilidade de Ds sementes em ensaios de fitotoxicidade**. Revista Brasileira de Ciência e Tecnologia. V. 4, n. 2, p. 201-212, 2019.

RANTHUM, R.; SILVA, E. A.; FRASSON, A. C.. O Processo Da Transposição Didática, Suas Fases E Suas Nuances Até O Desenvolvimento Dos Materiais Didáticos. **Boletim de Conjuntura (BOCA)**, v. 14, n. 41, p. 226-247, 2023.

RODRIGUES, V. D. *et al.* **Construindo conceitos de Ecotoxicologia no Ensino Básico: experimentos com plantas**. Ecotoxicology and Environmental Contamination, v. 17, n. 2, p. 64-77, 2022.

SAARISTO, M. *et al.* **Direct and indirect effects of chemical contaminants on the behaviour, ecology and evolution of wildlife**. Proceedings of the Royal Society B, v. 285, n. 1885, p. 20181297, 2018.

SASSERON, LÚCIA HELENA; DE CARVALHO, ANNA MARIA PESSOA. **Alfabetização científica: uma revisão bibliográfica**. Investigações em ensino de ciências, v. 16, n. 1, p. 59-77, 2011.

SASSERON, LÚCIA HELENA. **Alfabetização científica, ensino por investigação e argumentação: relações entre ciências da natureza e escola**. Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências (Belo Horizonte), v. 17, p. 49-67, 2015.

SCHUTZ, DAIANA LAUXEN *et al.* **Soil toxicity in a protected area in Brazil: Cytotoxic, genotoxic, and toxic effects**. Science of The Total Environment, v. 892, p. 164564, 2023.

SEVERINO, ANTÔNIO JOAQUIM. **A pesquisa na pós-graduação em educação**. Revista Eletrônica de Educação, v. 1, n. 1, p. 31-49, 2007.

SILVA, DANIEL CLEMENTE VIEIRA RÊGO DA; POMPÊO, MARCELO; PAIVA, TERESA CRISTINA BRAZIL DE. **A ecotoxicologia no contexto atual no Brasil**. Ecologia de reservatórios e interfaces, p. 460, 2015.

SILVA, MAÍRA BATISTONI; SASSERON, LÚCIA HELENA. **Alfabetização científica e domínios do conhecimento científico: proposições para uma perspectiva formativa comprometida com a transformação social**. Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências (Belo Horizonte), v. 23, p. e34674, 2021.

SINGH, R. P. *et al.* **Ecotoxicology and Its Impact on Ecosystem: A Review**. Agricultural Reviews, v. 42, n. 4, 2021.

SISINNO, CRISTINA LUCIA SILVEIRA; OLIVEIRA-FILHO, EDUARDO CYRINO. **Princípios de toxicologia ambiental**. Interciência, 2021.

SPARLING, D. W. **Ecotoxicology essentials: environmental contaminants and their biological effects on animals and plants.** Índia: Academic press, 2016.

SWARINGEN, BENJAMIN F. *et al.* **Children's exposure to environmental lead: A review of potential sources, blood levels, and methods used to reduce exposure.** Environmental research, v. 204, p. 112025, 2022.

TEDESCO B.S., LAUGHINGHOUSE H.D., IV. **Bioindicator of genotoxicity: The *Allium cepa* test.** In: **Srivastava J.K.**, editor. Environmental Contamination. IntechOpen Limited; London, UK: 2012. pp. 137–156.

THOMAS, HELENY; KRAWCZYK, ANA CAROLINA DE DEUS BUENO. **Ecotoxicology At School: A Proposal For Insertion Into Practical Science Classes.** Ecotoxicology and Environmental Contamination, v. 18, n. 1, p. 28-37, 2023.

VALLADARES, L. **Scientific Literacy and Social Transformation: Critical Perspectives About Science Participation and Emancipation.** Science & Education, 30(3), 557-587, 2021.

ANEXOS

**TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TCLE)
Aos representantes legais das crianças menores de 12 anos que
participarão da pesquisa**

Título do Projeto: **Estratégias Educacionais na Compreensão de conceitos da Ecotoxicologia no Contexto Escolar**

O presente projeto de pesquisa foi aprovado pelo CEP UNESPAR.

DADOS DO PARECER DE APROVAÇÃO

Emitido Pelo Comitê de Ética em Pesquisa, CEP UNESPAR.

Número do parecer: (inserir após aprovação do projeto pelo CEP, para entregar ao participante).

Data da relatoria: ___/___/202___

Dados do Pesquisador:

Pesquisadora responsável: **Josiane Aparecida Gomes Figueiredo**

Pesquisadoras assistentes: **Luciane Mendes Capeta e Vanessa Johnsson Pereira**

Locais da Pesquisa:

Escola Municipal “Mirian Soares Cunha” - Rua Guatemala S/N - Jardim Américas - Zona Urbana - Jardim America, Paranaguá – PR

Escola Municipal “Manoel Viana” - R. Rodrigues Alves, 850 - Centro Histórico, Paranaguá - PR, 83203-179

Você está como responsável pelo(a) _____, _____, (grau de parentesco) que está sendo convidado(a) para participar como voluntário(a) da pesquisa “ **Estratégias Educacionais na Compreensão de conceitos da Ecotoxicologia no Contexto Escolar**”, que tem como objetivo O objetivo principal deste projeto é investigar o impacto das estratégias educacionais baseadas em experimentos didáticos conduzidos por meio da contação de histórias, experimentos práticos e atividades lúdicas na promoção da consciência ambiental com vistas na apropriação de conhecimentos da ecotoxicologia.

A participação na pesquisa será realizada de maneira lúdica dentro do horário da aula através da participação em três atividades principais em experimentos didáticos no ensino de ecotoxicologia: a) **Experimento com Minhocas (História “As Descobertas de Luiz”)**; b) **Experimento de Germinação de Sementes**; c) **Experimento com Cebolas (História “Cebolete, a Detetive Ambiental”)**.

Durante a execução do projeto haverá inúmeros benefícios que incluem a oportunidade de contribuir ativamente para melhorar as aulas na escola, ao mesmo tempo em que fortalece suas habilidades sociais e emocionais. Suas opiniões e participação dele(a) serão valiosas para o sucesso do projeto. É possível que aconteçam riscos mínimos como causar certo desconforto ao realizar uma atividade diferente ou cansaço ao responder os questionários, porém o bem-estar dele(a) será prioridade, sendo sugerida uma atividade paralela, caso isso ocorra.

Após ler e receber explicações sobre a pesquisa, seu(sua) _____ tem direito de:

1. Não ser identificado(a) e ser mantido o caráter confidencial das informações relacionadas à privacidade (todos os documentos e dados físicos oriundos da pesquisa ficarão guardados em segurança por cinco anos e em seguida descartados de forma ecologicamente correta).

2. Ter garantia de manutenção do sigilo e da privacidade durante todas as fases da pesquisa, exceto quando houver sua manifestação explícita em sentido contrário. Ou seja, o nome nunca será citado, a não ser que você manifeste que renuncia ao direito ao sigilo.

() Permito a gravação de imagem, som de voz e/ou depoimentos unicamente para esta pesquisa e tenho ciência que a guarda dos dados são de responsabilidade do(s) pesquisador(es), que se compromete(m) em garantir o sigilo e privacidade dos dados.

() Não permito a gravação de imagem, som de voz e/ou depoimentos para esta pesquisa.

3. Assistência durante toda pesquisa, bem como o livre acesso a todas as informações e esclarecimentos adicionais sobre o estudo e suas consequências, enfim, tudo o que quiser saber antes, durante e depois da sua participação. Esse direito é extensivo ao(à) senhor(a).
4. Recusar a participação do(a) seu(sua) representado(a), do estudo, ou retirar o consentimento a qualquer momento, sem precisar justificar, e de, por desejar sair da pesquisa, não sofrer qualquer prejuízo à assistência a que tem direito. Esse direito é extensivo ao(à) Senhor(a), ou seja, poderá retirar a autorização para participar da pesquisa.
5. A pesquisa não envolve custos ou despesas aos participantes. Caso permita a participação na pesquisa, não receberá nenhuma compensação financeira.
6. Procurar esclarecimentos com a Sra. Josiane Ap. Figueiredo, por meio do número de telefone: (41) 98802-7492 ou no endereço Rua Comendador Correa Junior, 117- Centro-Paranaguá em caso de dúvidas ou notificação de acontecimentos não previstos. Esse direito é extensivo ao(à) Senhor(a).
7. Entrar em contato com o CEP UNESPAR na Universidade Estadual do Paraná. Avenida Gabriel Esperidião, S/N - Sala 20, Jardim Morumbi, Paranaíba -PR. CEP: 87.703-000. Telefone: (44) 3482-3212. E-mail: cep@unespar.edu.br se achar que a pesquisa não está sendo realizada da forma como foi proposta ou que se sinta prejudicado (a) de alguma forma, ou se desejar maiores informações sobre a pesquisa. Esse direito é extensivo ao(à) Sr(a). O CEP é um colegiado interdisciplinar e independente, público, de caráter consultivo, deliberativo e educativo, criado para defender os interesses dos participantes da pesquisa, no que diz respeito à integridade e à dignidade dos mesmos, e para contribuir no desenvolvimento da pesquisa, dentro dos padrões éticos.

Consentimento livre e esclarecido:

Pelo presente instrumento que atende às exigências legais, eu _____, (nome por extenso), _____, (grau de parentesco) do _____ (nome por extenso do participante) declaro que, após leitura minuciosa do TCLE, tive oportunidade de fazer perguntas, esclarecer dúvidas que foram devidamente explicadas pelo(a) pesquisador(a), ciente das atividades aos quais serão realizadas e, não restando quaisquer dúvidas a respeito do lido e explicado, firmo meu CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO autorizando meu minha(a) _____ participar da pesquisa "**Estratégias Educacionais na Compreensão de conceitos da Ecotoxicologia no Contexto Escolar**", assinando este consentimento em duas vias, ficando com a posse de uma delas.

Paranaguá, _____ de _____ de 2024.

Assinatura do Responsável legal pelo Participante da Pesquisa

Eu, _____, declaro que forneci, de forma apropriada, todas as informações referentes à pesquisa ao participante.

Assinatura do/a Pesquisador/a


Assinatura do estudante-pesquisador



(este termo será lido à criança pelo[a] pesquisador[a])

TERMO DE ASSENTIMENTO

Data ___/___/___

Olá! Meu nome é _____, sou sua a professora e responsável pela pesquisa **Estratégias Educacionais na Compreensão de conceitos da Ecotoxicologia no Contexto Escolar** que será realizada com sua turma aqui na _____ e precisamos da sua ajuda para desenvolver uma coisa nova.

1	Nossa missão nessa aventura será fazer 3 atividades: Um Experimento com Minhocas, outro sobre a Germinação de Sementes e uma com Cebolas, para ajudar a Cebolete desenvolver um mistério.
2	Para nossa missão durante as atividades vamos precisar conversar, desenhar e escrever textos.
3	Nossa missão pode causar coisas boas e ruins: - você pode se sentir cansado ao responder as atividades ou fazer as atividades; - Mas a qualquer momento você pode contar para a professora o que está sentindo e pode fazer outra atividade; - Sua ajuda nesta pesquisa será importante para que a gente consiga fazer outras atividades como esta.
4	Ficou curioso(a) com alguma coisa sobre a pesquisa e quer perguntar? 
5	Nós vamos pedir para alguém da sua família se você pode participar. Mas você também pode conversar com as pessoas da sua família, sua participação vai valer se eles também deixarem!
6	Agora é hora... Você pode dizer SIM, NÃO ou TANTO FAZ DE UM JEITO OU DE OUTRO VAMOS FICAR FELIZES COM SUAS RESPOSTAS! Além disso, você pode desistir a qualquer momento!

Você topa fazer parte? Então marque para a gente a opção que você escolheu:	
 SIM	 NÃO

NOME DO PARTICIPANTE: _____

DATA DE NASCIMENTO: _____

Declaração do pesquisador

Declaro que fiz a leitura do termo com o participante, esclareci dúvidas e obtive de forma apropriada e voluntária o assentimento do participante para a participação neste estudo. Declaro ainda que me comprometo a cumprir todos os termos aqui descritos.

Pesquisadora Assistente
Local/data: _____